



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE VÝROBY DÍLU

PART PRODUCTION TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Roman Uličný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Osička, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Roman Uličný**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Karel Osička, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Technologie výroby dílu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kompletní návrh technologické přípravy výroby součásti pro velkosériovou výrobu s aplikací moderních metod.

Cíle diplomové práce:

- Obecný rozbor základních metod obrábění.
- Rozbor technologičnosti konstrukce dílu.
- Rozbor stávajících technologických možností firmy.
- Návrh možných variant technologie velkosériové výroby.
- Rozpracování vybrané varianty.
- Technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-9722 99-4-6.

KOCMAN, K. a J. PROKOP. Technologie obrábění. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

FOREJT, M. a M. PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk, 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

SVOBODA, E. Technologie a programování CNC strojů. 1. vydání. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998. 278 s.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM Publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-8-254-2250-2.

WALKER, J. R. Machining Fundamentals. The Goodheart-Wilcox Company, Inc., Tinle Park, Illinois, 7th ed., 2004. pp. 640. ISBN 1-59070-249.

TRENT, E. M., and P. K. WRIGHT. Metal Cutting. Fourth Edition. Butterworth-Heinemann. Boston, Oxford, Auckland, Johannesburg, Melbourne, New Delhi, 2000. pp. 446. ISBN 0-7506-7069-X.

HUMÁR, A. a M. PÍŠKA. Moderní řezné nástroje a nástrojové materiály. MM Průmyslové spektrum. Speciální vydání včetně CD, Praha: 2004. 110 s. ISSN 1212-2572.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá technologií výroby plastového dílu pro bateriové moduly. První kapitola obsahuje rozbor základních metod obrábění, kde jsou uvedeny obecné informace o technologiích, která firma, ve které byla tato práce řešena, využívá. Ve druhé kapitole je řešen popis vyráběné součásti a její technologické aspekty pro zhotovení. Další kapitola je věnovaná představení firmy a jejím technologickým možnostem pro výrobu. Zbývá část práce je věnována návržení možných řešení výroby polotovarů a návržení upínání polotovaru. Z vybrané varianty je následně řešena technologie výroby součásti, kde jsou uvedeny technologické řešení jednotlivých operací a výrobní postup. Na závěr je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení, kde je řešena vícestrojová obsluha a jsou posouzeny náklady na výrobu navrhovaných variant.

Klíčová slova

metody obrábění, polotovar, upnutí, technologické řešení

ABSTRACT

This work deals with the production technology of the plastic part for battery modules. First chapter contains analysis of fundamental methods of machining, where are general informations about technologies which are used in the company with which one is work cooperated. In the second chapter is solved description of manufactured part and its technological aspects for the production. Next chapter is dedicated for introducing the company and its technological possibilities for the manufacturing. The rest part of the work is dedicated for designing production of the semi-finished product and clamping of the semi-finished product. With the selected variant is solved production technology of the part, where are indicated technological solutions of each operations and production process. In the end is realized technological-economic valorization, where is solved service of more machines and judged cost for production of designed variants.

Key words

machining methods, semi-finished product, clamping, technological proposal

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ULIČNÝ, Roman. *Technologie výroby dílu*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117202>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Karel Osička, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Technologie výroby dílu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Bc. Roman Uličný

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Karlu Osičkovi Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 OBECNÝ ROZBOR ZÁKLADNÍCH METOD OBRÁBĚNÍ	10
1.1 Frézování	10
1.1.1 Válcové frézování	11
1.1.2 Čelní frézování	12
1.1.3 Základní výpočty	12
1.1.4 Nástroje	15
1.1.5 Frézky	16
1.2 Soustružení	17
1.2.1 Základní výpočty	17
1.2.2 Nástroje	19
1.2.3 Soustruhy	20
1.3 Vrtání	20
1.3.1 Základní výpočty	20
1.3.2 Nástroje	22
1.3.3 Vrtačky	23
1.4 Broušení	24
1.4.1 Základní výpočty	24
1.4.2 Nástroje	25
1.4.3 Brusky	26
2 ROZBOR TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE DÍLU	27
2.1 Popis součásti	27
2.2 Materiál součásti	28
2.3 Vliv technologičnosti konstrukce na obrábění součásti	29
3 ROZBOR STÁVAJÍCÍCH TECHNOLOGICKÝCH MOŽNOSTÍ FIRMY	31
3.1 Představení firmy	31
3.2 CNC obráběcí stroje	31
3.3 Konvenční stroje	33
3.4 Stroje na dělení materiálu	34
3.5 Softwarové vybavení firmy	35
4 NÁVRH MOŽNÝCH VARIANT TECHNOLOGIE VELKOSÉRIOVÉ VÝROBY	35
4.1 Návrh výroby polotovarů	35
4.1.1 Výroba polotovarů v rámci vlastního vybavení firmy	35
4.1.2 Výroba polotovarů v kooperaci	37
4.2. Návrh upínání součásti	40
4.2.1 Upnutí polotovarů pomocí vakuového upínače	40
4.2.2 Upnutí polotovaru v přípravku	41

5 ROZPRACOVÁNÍ VYBRANÉ VARIANTY	42
5.1 Upínací přípravek	42
5.2 Technologie obrábění	42
5.2.1 Frézování čelní plochy polotovaru	42
5.2.2 Vrtání a frézování zahloubení	44
5.2.3 Frézování kapsy a drážek	48
5.2.4 Frézování drážek 2 mm	52
5.3 Výrobní postup	54
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	56
6.1 Vícestrojová obsluha	56
6.1.1 Strojní časy pro operaci 50/50.	56
6.1.2 Návrh vícestrojové obsluhy	58
6.2 Náklady na výrobu polotovarů	62
6.3 Náklady na výrobu součásti dle typu upnutí	63
DISKUZE	66
ZÁVĚR	67
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	68
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
SEZNAM PŘÍLOH	73

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá technologickou přípravou výroby dílu, která je zadána zákazníkem do firmy, zabývající se kusovou výrobou. Jedná se o plastový díl v dávce 230 ks. Z hlediska zaměření firmy a časové náročnosti výroby dílu se pro firmu jedná o velkou sérii. Zákazník má samozřejmě určité požadavky, které je nutné dodržet, jako např. vyrobení součástí v požadovaném termínu, požadované kvality a za co nejnížší možnou cenu. Pro firmu je samozřejmým faktem, že pokud se chce ucházet v boji o zakázky s konkurencí nebo o možné další spolupráce se stávajícími zákazníky, musí splnit zákaznicko očekávání, ceny, čas a kvalitu. Cena je mnohdy určená konkurenčním prostředím, v kterém se firma nachází a snahou je mít co největší zisk, který je důležitým ukazatelem pro následný rozvoj firmy, investice do nových technologií a celkově užitku jak pro zaměstnance, tak i pro firmu samotnou. Aby bylo vše takto splněno, je nutné, aby bylo vše důkladně připravené. Hlavní roli při zavádění nové výroby je technologická příprava výroby, která má velký vliv na konečnou cenu výrobku. Tato příprava např. zahrnuje ekonomický a časový aspekt výroby, přesnost a kvalitu vyrobené součásti časové vytížení a termíny dodávek. Výrobce je mnohdy finančně či kapacitně omezen a ve snaze co nejvíce snížit náklady je potřeba vytvořit co nejefektivnější a hlavně fungující systém, kde lze dosáhnout časové a finanční úspory a využití moderních prostředků na výrobu jako jsou CNC obráběcí stroje s použitím vhodných nástrojů, spolupracujících s CAD/CAM softwary.

Zadanou součástí je plastová deska, do kterých, jsou vkládány bateriové články, tvořící bateriové moduly. Jelikož se jedná o plastový díl, je nutné zvážit možnosti výroby polotovaru, jeho upnutí a vybrat vhodnou variantu tak, aby náklady na vyrobení byly co nejnížší. Taktéž pro minimalizování nákladů, z důvodu obrábění součástí na třech CNC strojích, je vhodné posouzení, zavedení vícestrojové obsluhy.

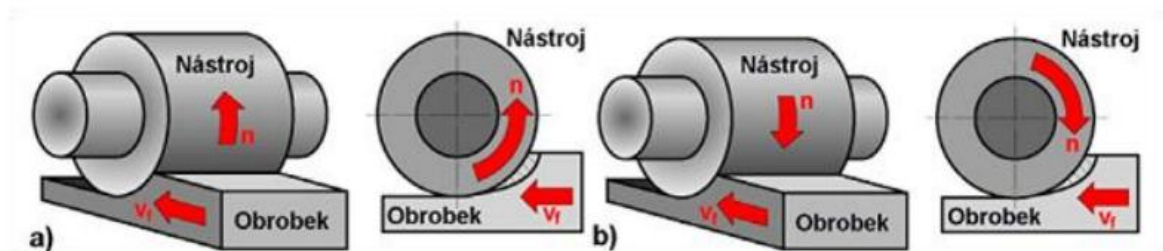
1 OBECNÝ ROZBOR ZÁKLADNÍCH METOD OBRÁBĚNÍ

Základní metody obrábění

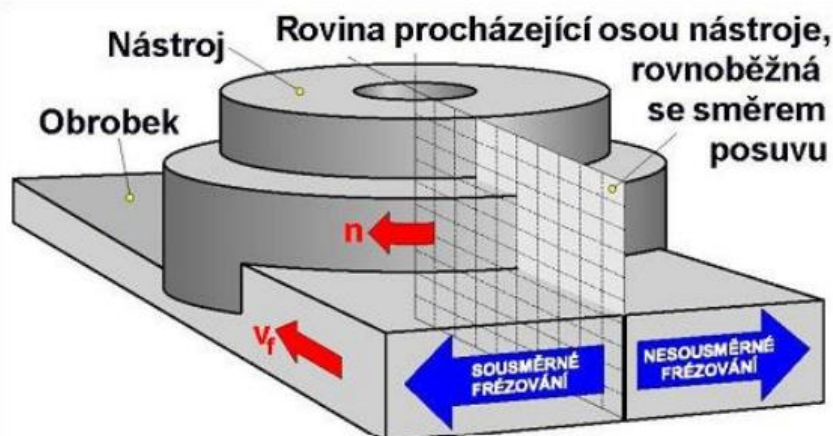
Metody obrábění je možné rozdělit dle různých hledisek, např. podle povahy práce existují ruční metody, kde můžeme zařadit pilování, zaškrabávání atd. a strojní metody obrábění. Podle charakteristických vlastností se dělí tyto metody do následujících skupin. První z nich jsou metody obrábění pomocí nástrojů s definovanou geometrií, kam patří frézování, soustružení, vrtání, vyvrtávání, vystružování, obrážení, protahování atd. Druhou skupinou jsou metody obrábění pomocí nástrojů s nedefinovanou geometrií, které jsou zastoupeny dokončovacími metodami a to broušením, honováním, lapováním, superfinišováním atd. Další metodou je nekonvenční obrábění, do kterého patří elektroerozivní obrábění, chemické obrábění, obrábění ultrazvukem, elektronovým paprskem, vodním paprskem atd. Poslední skupinu uzavírají úpravy obrobených ploch, které lze provést válečkováním, hlazením, brokováním, leštěním atd. [1].

1.1 Frézování

Frézování je proces obrábění, kde dochází k úběru materiálu obrobku břity rotujícího nástroje, který vykonává hlavní řezný pohyb. Posuv nejčastěji vykonává obrobek, zpravidla ve směru kolmém k ose nástroje. U současných frézovacích strojů jsou posuvové pohyby realizované ve všech směrech a lze je plynule měnit. Z technologického pohledu se v závislosti na používaném nástroji rozlišují dva základní způsoby frézování. Frézování válcové tj. frézování obvodem nástroje – obr.1.1 a frézování čelní – frézování čelem nástroje – obr.1.2. Z těchto základních způsobů vychází některé další možnosti frézování jako je okružní a planetové [1].



Obr.1.2 Válcové frézování a) nesousledné, b) sousledné [1].



Obr.1.2 Čelní frézování [1].

1.1.1 Válcové frézování

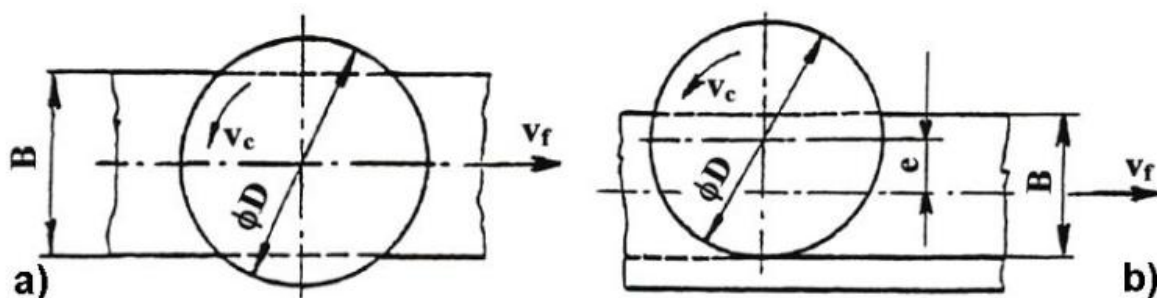
Válcové frézování je převážně využíváno při práci s válcovými a tvarovými frézami, které jsou opatřeny zuby pouze na jejich obvodu. Hloubka odebírané vrstvy je nastavována kolmo na osu frézy a na směr posuvu. Plocha po obrobení je rovnoběžná s osou otáčení nástroje.

V závislosti na kinematice obráběcího procesu je rozlišováno frézování nesousledné, známé také jako protisměrné či nesousměrné a frézování sousledné neboli sousměrné – viz obr.1.1. Při nesousledném frézování je smysl otáčení nástroje proti směru posuvu obrobku. Průřez třísky se postupně zvětšuje z nulových hodnot do maximálních. Při záběru třísky od nulové hodnoty dochází ke skluzu břitu nástroje po obráběné ploše, přitom dochází ke zvýšenému opotřebení břitu a horší drsnosti obrobené plochy. Jelikož působící řezná síla směřuje ven z obrobku, odtahuje obrobek od stolu stroje, jsou zapotřebí vyšší nároky na upnutí součástí.

Při sousledném frézování se nástroj otáčí ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vznikne při vniknutí zubu nástroje do obrobku. Při tomto způsobu záběru je dosaženo lepší drsnosti obrobené plochy. Řezné síly obvykle působí směrem do obrobku, tedy přitlačují obrobek ke stolu. Z toho důvodu je možné využít jednodušších upínacích přípravků. Nevýhodou sousledného frézování jsou rázy, které vznikají při záběru jednotlivých zubů do materiálu. Tyto rázy je možné odstranit použitím fréz se šikmými zuby. Frézky pro tento způsob obrábění musí mít zařízení pro vymezení vůlí mezi posuvovým šroubem a maticí nebo mají pohon řešen kuličkovými šrouby. V opačném případě způsobuje vůle nestejný posuv a tím by mohlo dojít k deformaci nástroje popř. i stroje [1].

1.1.2 Čelní frézování

Čelní frézování je uplatňováno při práci s čelními frézami, kde materiál je odřezáván nejen břity na obvodu, ale také břity na čelní ploše nástroje. Osa nástroje je kolmá k obráběné ploše a podle její polohy je rozlišováno symetrické a nesymetrické frézování. Při symetrickém frézování osa nástroje prochází středem frézované plochy, naopak při nesymetrickém frézování osa nástroje je mimo střed frézované plochy – Obr.1.3. Během obrábění fréza pracuje současně sousledně i nesousledně. Tento způsob frézování je výkonnější, protože dochází k současnému záběru více zubů, z toho důvodu můžeme volit větší posuv [1].



Obr.1.3 Čelní frézování: a) symetrické, b) nesymetrické [1].

1.1.3 Základní výpočty

Řezná rychlost:
$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}], \quad (1.1)$$

Základní jednotkou posuvového pohybu je posuv za zub f_z [mm], což je délka dráhy, kterou ujede obrobek po dobu záběru zubu. Z posuvu za zub lze vypočítat posuv na otáčku f_n , který uvádí délku dráhy, kterou obrobek ujede po dobu jedné otáčky [1].

$$f_n = f_z \cdot z [\text{mm}], \quad (1.2)$$

Posuvová rychlost je vypočítána podle vztahu:

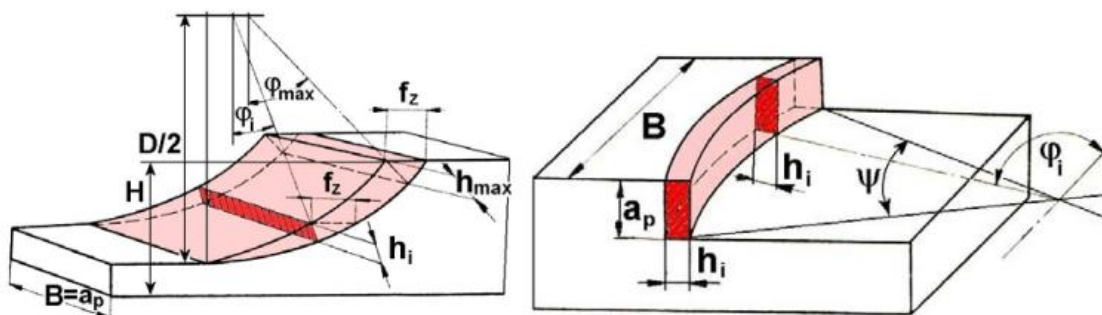
$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}], \quad (1.3)$$

Jmenovitá tloušťka třísky h_i v libovolné fázi jejího odřezávání je vyjádřena vztahem:

$$h_i = f_{(\varphi_i)} = f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm]}, \quad (1.4)$$

Jmenovitý průřez třísky pro polohu zubu frézy i je značen A_{Di} a je vyjádřen na základě poměrů zaznamenaných na obr.1.4

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.5)$$



Obr.1.4 Průřez třísky při válcovém frézování a při čelním frézování [1].

U čelního frézování se tloušťka třísky rovněž mění v závislosti na úhlu posuvového pohybu φ_i a navíc je ovlivněna úhlem nastavení hlavního ostří K_r . Na obr.1.4 je hodnota $K_r = 90^\circ$, proto se její okamžitá hodnota vypočítá podle vztahu [1]:

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r \text{ [mm]}, \quad (1.6)$$

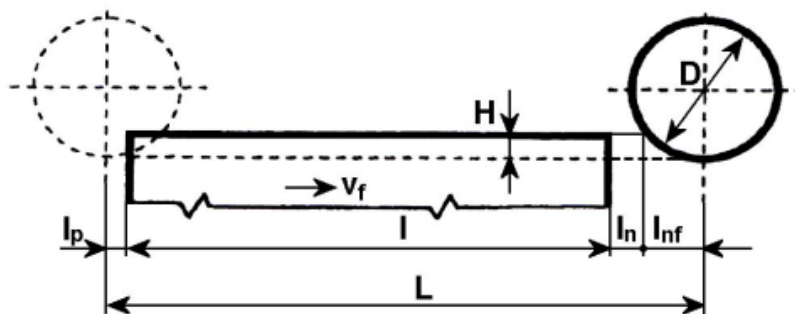
Jmenovitá šířka třísky b_i je pro libovolné φ_i konstantní a vypočítá se podle vztahu:

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \text{ [mm]}, \quad (1.7)$$

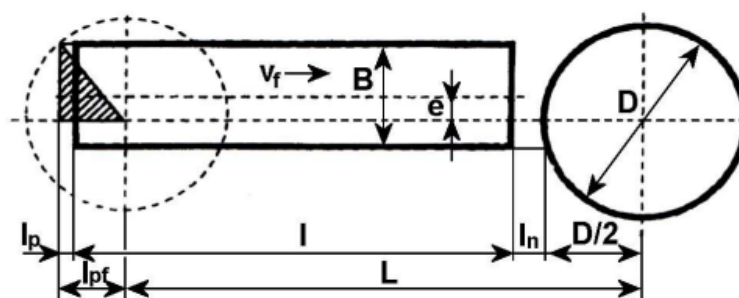
Jmenovitý průřez třísky A_{Di} pro $\kappa_r = 90^\circ$:

$$A_{Di} = b \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.8)$$

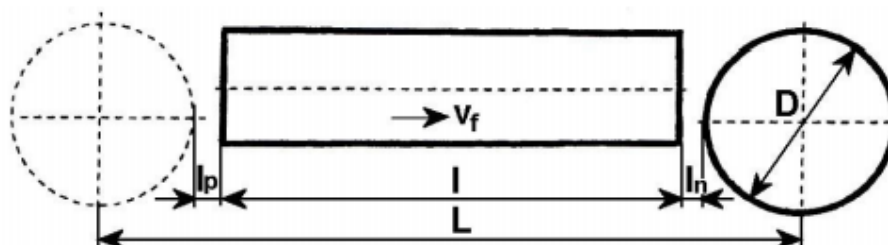
Hodnoty jednotkového strojního času pro základní případy frézování se vyjádří na základě poměrů naznačených na obrázcích 1.5, 1.6 a 1.7 [1].



Obr.1.5 Dráha frézy pro válcové frézování [1].



Obr.1.6 Dráha frézy pro hrubé čelní frézování asymetrické [1].



Obr.1.7 Dráha frézy pro čelní frézování načisto asymetrické [1].

Jednotkový strojní čas je obecně vyjádřen vztahem:

$$t_{AS} = L \cdot v_f^{-1} \text{ [mm]} \quad (1.9)$$

Hodnota L pro válcové frézování (obr. 1.5) se vyjádří pomocí vztahu:

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} \text{ [mm]} \quad (1.10)$$

$$l_{nf} = (H \cdot (D - H))^{0.5} \text{ [mm]} \quad (1.11)$$

Hodnota L pro čelní hrubé frézování asymetrické obr.1.6 je vyjádřeno pomocí vztahu:

$$L=l+l_n+l_p+D/2+l_{pf} \text{ [mm]} \quad (1.12)$$

Hodnota L pro čelní frézování na čisto asymetrické obr.1.7 je vyjádřeno pomocí vztahu:

$$L=l+l_n+l_p+l_p+D \text{ [mm]} \quad (1.13)$$

1.1.4 Nástroje

V současné době se na trhu vyskytuje mnoho typů fréz. Frézy jsou několikabřité nástroje, jejichž břity jsou uspořádány na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše, u čelních fréz také na čelní ploše. Frézy lze rozdělit do jednotlivých skupin podle následujících hledisek.

Podle umístění zubů na tělese nástroje jsou rozlišovány frézy válcové, čelní a válcové čelní. Frézy válcové mají zuby pouze na obvodě, používají se pro frézování rovinných ploch rovnoběžných s osou nástroje. Břity nástrojů pro hrubování bývají opatřeny drážkami pro dělení třísek, aby dosahovaly vyšších výkonů. Čelní válcové frézy mají zuby na obvodě i na čelní ploše, což umožňuje frézování rovinných ploch, které jsou kolmé nebo rovnoběžné s osou nástroje. Velké čelní frézy jsou nazývány frézovací hlavy, malé čelní válcové frézy jsou známé jako stopkové.

Podle způsobu výroby zubů se rozeznávají frézy s frézovanými zuby, které se brousí na hřbetě a používají se pro jednodušší tvary. Druhým typem jsou frézy s podsoustružovanými nebo podbrušovanými zuby, které mají hřbetní plochu vytvořenou jako část Archimédovy spirály, čelo zubu je tvořeno rovinnou plochou a ostření se provádí na čele. Při ostření nástroje se brousí čelo, které minimálně mění profil zubu. Tohoto typu frézy je využíváno pro tvarové nástroje.

Podle nástrojového materiálu zubů jsou rozlišovány frézy ze slinutých karbidů, rychlořezných ocelí, cermetů, řezné keramiky, kubického nitridu boru a polykrystalického diamantu.

Podle počtu zubů vzhledem k průměru nástroje se rozlišují frézy jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé. Pro klidný chod frézy je vhodné, aby současně řezaly nejméně dva zuby.

Podle konstrukčního uspořádání jsou rozlišeny frézy celistvé, kde z jednoho materiálu je vyrobeno těleso i zuby, frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami, které jsou mechanicky upevňovány k tělesu frézy a frézy s vloženými noži.

Podle geometrického tvaru funkční části rozlišeny na válcové, kotoučové, úhlové, drážkovací, kopírovací, rádiusové, na výrobu ozubení atd.

Podle způsobu upnutí jsou frézy nástrčné, které se upínají na centrální otvor a stopkové, které se upínají za válcovou nebo kuželovou stopku.

Podle smyslu otáčení jsou nástroje děleny na pravořezné a levořezné [1; 2].

1.1.5 Frézky

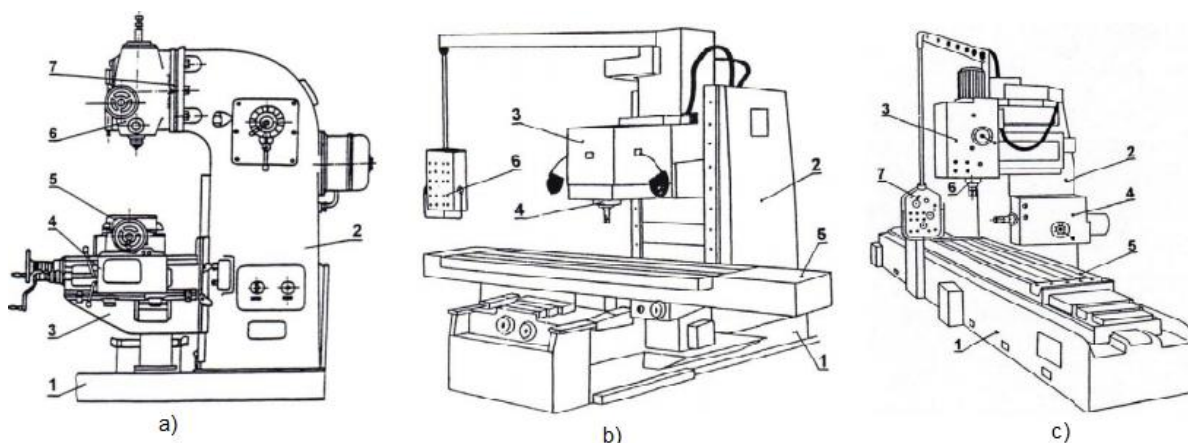
Frézovací stroje jsou frézky, které jsou vyráběny ve velké počtu modelů, různých velikostí a vybavení. Obecně jsou rozděleny do čtyř skupin – konzolové, stolové, rovinné a speciální. Stroje lze také rozlišit zda-li jsou ovládány ručně nebo řízeny programově. Velikost frézek je určována šířkou upínací plochy stolu a velikostí kužele ve vřetenu pro upnutí nástrojů. Dalšími parametry jsou délky pohybu pracovního stolu nebo vřeteníku, rozsah otáček vřeten a posuvů, výkon elektromotoru a kvalitativní parametry dosahované u obrobků ploch.

První skupinou jsou konzolové frézky obr.1.8 a), které jsou charakteristické výškově přestavitelnou konzolou, která se pohybuje po vedení stojanu. Na konzole je pohyblivý příčný stůl s podélným pracovním stolem. Kombinací pohybů je umožňováno přestavování obrobku upnutého na pracovním stole ve třech osách. Konzolové frézky jsou vhodné pro obrábění rovinných a tvarových ploch menších a středně velkých součástí v kusové a malosériové výrobě. Mohou být vyrobeny ve třech variantách a to jako horizontální, vertikální a univerzální.

Druhou skupinou jsou stolové frézky obr.1.8 b). Tyto frézky nemají konzolu a mají běžně podélný a příčný stůl. Vertikální pohyb pro nastavení nástroje vzhledem k obrobku je zajištěn pohybem frézovacího vřeteníku po vedení stroje. Na těchto typech strojů lze kvalitně a produktivně obrábět objemnější součásti. Vyrábějí se ve svislém i vodorovném provedení.

Další skupinou jsou rovinné frézky obr.1.8 c), které můžeme označit jako nejvýkonnější. Mají robustní konstrukci a umožňují obrábět rozměrné a těžké díly. Uplatňují se v kusové výrobě, ale mají dobré uplatnění i v sériové výrobě. Rovinné frézky mohou mít více vřeteníků jak vodorovné tak i svislé, někdy jsou konstruovány jako portálové.

Poslední skupinou jsou speciální frézky, do kterých lze zařadit frézky na ozubení, na závity, na vačky, kopírovací [1; 2].



Obr.1.8 Frézky a) konzolová, b) stolová, c) rovinná [1].

1.2 Soustružení

Soustružení je metoda obrábění rotačních součástí jednobřítým nástrojem různého provedení. Touto metodou lze obrábět vnější a vnitřní válcové, kuželové i tvarové plochy, rovinné čelní plochy a zápichy obr.1.9. Mezi další operace se zde řadí vrtání, vystružování, řezání závitů, vroubkování, válečkování, leštění atd.

Základem tohoto způsobu obrábění je rotační pohyb obrobku, který vykonává hlavní pohyb. Obvodová rychlost obrobku je řeznou rychlostí v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]. Nástroj koná nejčastěji přímočarý pohyb, vedlejší řezný pohyb. Ten lze rozdělit na posuv podélný, který je rovnoběžný s osou rotace a posuv příčný, který je kolmý na osu rotace a obvykle slouží k nastavení šířky záběru hlavního ostří. Velikost podélného a příčného posuvu je dáno dráhou nože na jednu otáčku obrobku [1; 2].

1.2.1 Základní výpočty

Hodnota řezné rychlosti v_c je dána vztahem:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.14)$$

Posuvové rychlost v_f je definována vztahem:

$$v_f = f \cdot n \cdot 10^{-3} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.15)$$

Efektivní výsledná rychlost je vektorovým součtem řezné a posuvové rychlosti a je definován vztahem:

$$v_e = (v_c^2 + v_f^2)^{0,5} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.16)$$

Identifikace rozměrů průřezů třísky pro základní případy soustružení je uvedena na obr.1.8. Šířka záběru hlavního ostří a_p je vyjádřeno dle vztahu:

Pro podélné soustružení:

$$a_p = 0,5 \cdot (D - d) \text{ [mm]} \quad (1.17)$$

Pro čelní soustružení:

$$a_p = L - l \text{ [mm]} \quad (1.18)$$

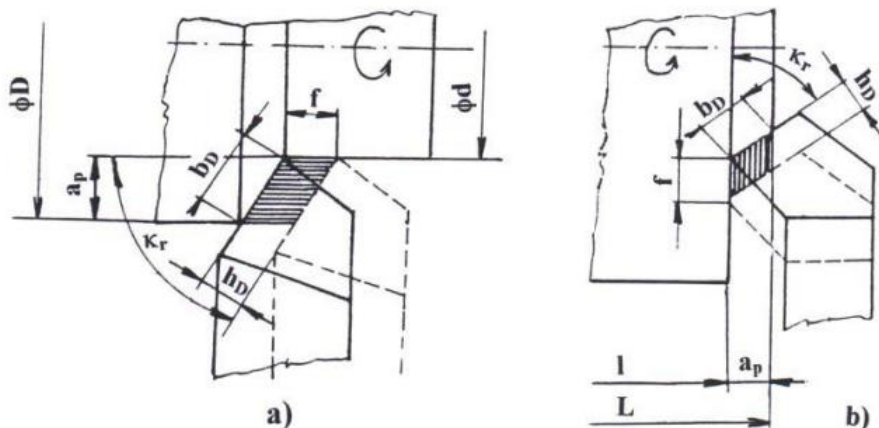
Jmenovitá šířka třísky b_D a jmenovitá tloušťka třísky h_D jsou vypočítány podle vztahů:

$$b_D = \frac{a_p}{\sin k_r} \text{ [mm]} \quad (1.19)$$

$$h_D = f \cdot \sin k_r \text{ [mm]} \quad (1.20)$$

Jmenovitý průřez třísky A_D se stanoví podle vztahu:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot f \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.21)$$



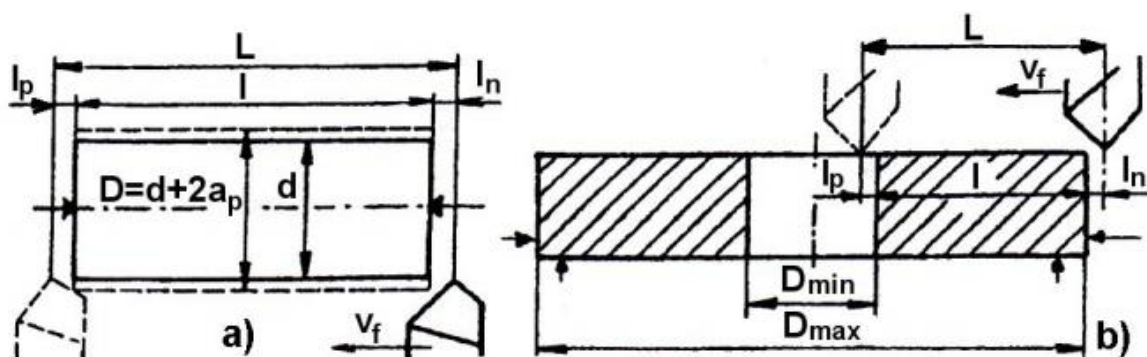
Obr.1.8 Identifikace průřezu třísky a) válcová plocha, b) čelní plocha [1].

Při určování jednotkového strojního času obrábění soustružením, se vychází z poměrů uvedených na obr.1.9. Pro podélné soustružení válcové plochy obr.1.8a) platí následující vztahy:

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad (1.22)$$

Dráha nástroje ve směru posuvu L [mm] je dána součtem jednotlivých složek:

$$L = l + l_n + l_p \text{ [mm]} \quad (1.23)$$



Obr.1.9 Jednotkový strojní čas a) podélné soustružení, b) čelní soustružení [1].

Pro soustružení čelní plochy obr.1.9b) je rozlišován strojní čas na obrábění konstantní řeznou rychlostí t_{ASv} a při konstantních otáčkách obrobku t_{ASn} . Hodnota t_{ASn} se vypočítá stejně jako jednotkový strojní čas pro podélné soustružení, který je uvedený ve vztahu (1.22). Dráha L se např. pro poměru na obrázku 1.9b) vypočítá podle vztahu [1]:

$$L = \frac{[(D_{\max}+2l_n)-(D_{\min}-2l_p)]}{2} \quad (1.24)$$

Velikost t_{ASv} se pro poměry na obr. 1.9b) stanoví podle vztahu:

$$t_{ASv} = \frac{[(D_{\max}+2l_n)^2-(D_{\min}-2l_p)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f} \quad (1.25)$$

1.2.2 Nástroje

Z technologického hlediska jsou rozlišovány soustružnické nože radiální, prizmatické, kotoučové a tangenciální.

Radiální nože jsou nejčastěji používané nástroje, které lze rozdělit podle konstrukce na celistvé, kde jsou těleso i řezná část z nástrojové oceli. V jiném případě, kdy břitová destička z řezného materiálu je pájena tvrdou pájkou na těleso z konstrukční oceli, se bavíme o noži s pájenými břitovými destičkami. Posledním konstrukčním řešením jsou nože s vyměnitelnými břitovými destičkami, kdy břitová destička je mechanicky upnuta v nožovém držáku z konstrukční oceli. Podle směru, posuvového pohybu se rozlišují radiální nože na dva případy. Směr posuvu od koníku soustruhu k vřetenu, tedy pravé a levé, kdy je směr posuvu od vřetene ke koníku. Podle způsobu obrábění lze dělit nože pro obrábění vnějších ploch a vnitřních ploch. Podle tvaru tělesa existují radiální nože přímé a ohnuté. V každé z uvedených skupin se nože mohou dělat na uběrací, zapichovací, upichovací, kopírovací, závitové, a tvarové.

Vyměnitelné břitové destičky radiálních nožů mohou být vyráběny ze slinutých karbidů, řezné keramiky, cermetů, polykrystalického kubického nitridu boru nebo polykrystalického diamantu. V dnešní době je tohoto typu nástroje užíváno nejvíce. Mimo úsporu na přestrojení a na počtu nožových držáků, je výhodné, že po opotřebením břitu není nutné vyjmout držák z nožové hlavy, VBD se pouze pootočí do nové polohy na neotupený břit. Čela destiček mohou být hladká nebo jsou opatřeny předlisovanými, popřípadě vybroušenými utvařeči třísek. Nejvíce rozšířeným způsobem upínání destiček je za průchozí otvor pomocí šroubu a jsou uloženy tak, aby řezné síly působily do stěn pro ně uzpůsobených vybrání a nezatěžovaly upínací mechanismus. Proces výměny destiček je snadný, rychlý a polohu břitu není obvykle nutné seřizovat [1; 2].

1.2.3 Soustruhy

Stroje pro soustružení jsou známe pod názvem soustruhy. Vyskytují se v obráběcích provozech strojírenských společností ve velkém počtu typů a největší počet stupňů automatizace. Soustruhy lze rozdělit na hrotové, svislé, čelní, revolverové a speciální. Z hlediska automatizace pak na ručně ovládané, poloautomatické a automatické.

Hrotové soustruhy se používají v kusové a malosériové výrobě, pro výrobu hřídelových a přírubových součástí různých rozměrů a tvarů, bez komplikovaného seřizování stroje. Jsou vyráběny jako univerzální a jednoduché. Univerzální hrotové soustruhy jsou opatřeny vodícím šroubem a lze na nich soustružit vnější a vnitřní válcové plochy, kuželové plochy, zapichovat, řezat závity závitovým nožem. Jednoduché hrotové soustruhy nemají vodící šroub. Jsou používány hlavně pro hrubovací operace. Je tedy zapotřebí, aby měly větší výkon.

Čelní soustruhy jsou používány pro obrábění součástí velkých průměrů a malé výšky. Obrobky jsou upínány na lícni desku. Stroje jsou dodávány s jedním nebo dvěma podélnými suporty a v případech soustružení nepříliš hmotných obrobků, lze použít koník.

Revolverové soustruhy jsou vhodné pro výrobu součástí v menších a středních sériích, vyžadující k obrobení více nástrojů. Obrobky jsou obráběny na jedno upnutí, postupně nástroji, které jsou upnuty v držácích revolverové hlavy a nástroji upnutých v nožovém suportu. Výhodou těchto strojů je rychlé a přesné nastavení nástroje vzhledem k obrobku a možnost současného obrábění více nástroji.

Svislé soustruhy známe také jako karusely se využívají v kusové, malosériové a některé typy v sériové výrobě středních a velkých rotačních součástí. Hlavními částmi karuselů jsou otočný stůl, který je uložen v případě menších a středně velkých strojů na valivých ložiscích, v případě velkých stolů je využíváno prizmatické vedení, stojany a příčníky se suporty. Vyrábějí se ve dvou možnostech, malé-jednostojanové a velké-dvoustojanové [1; 2].

1.3 Vrtání

Vrtání je základní metoda obrábění pro výrobu válcových otvorů. Vrtání je realizováno do plného materiálu. V případě obrábění předvrtaných nebo předlitých otvorů se bavíme o vyvrtávání. Hlavní řezný pohyb je rotační a vykonává ho zpravidla nástroj, méně často obrobek. Osa vrtáku je běžně kolmá k obráběné ploše, kde vrták vniká posuvovou rychlostí ve směru jeho osy do materiálu obrobku. Stejným principem jsou konány i další operace jako vyhrubování, vystružování, zahlubování, kde se ale dosahuje vyšších požadavků na kvalitu obrábění děr [2, 3].

1.3.1 Základní výpočty

Charakteristickou vlastností všech nástrojů pro díry je, že řezná rychlost se zmenšuje směrem od obvodu ke středu, kde v ose nástroje nabude hodnoty nula. Z toho vyplývá, že obvodovou rychlost lze považovat za řeznou rychlost. Hodnoty řezné rychlosti v_c , posuvové rychlosti v_f a rychlosti řezného pohybu v_e jsou vyjádřeny následně [3]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}], \quad (1.26)$$

$$v_f = f \cdot n \cdot 10^{-3} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}], \quad (1.27)$$

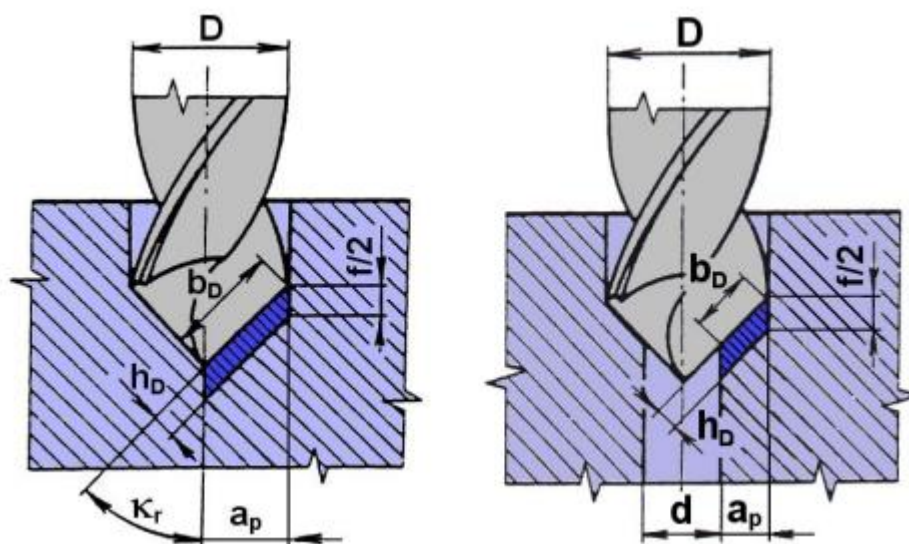
$$v_e = (v_c^2 + v_f^2)^{0.5} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}], \quad (1.28)$$

Jelikož jsou pro obrábění děr používány nástroje vícebřité, lze definovat hodnotu posuvu za zub f_z [3]:

$$f_z = \frac{f}{z} [\text{mm}], \quad (1.29)$$

U základních možností vrtání jsou parametry průřezu třísky uvedeny na obr.1.10, jmenovitý průřez třísky, odebíraný jedním břitem šroubovitého vrtáku je vyjádřen ve vztahu [3]:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} [\text{mm}^2] \quad (1.30)$$



Obr.1.10 Průřez třísky při vrtání dvoubřítým vrtákem [3].

Pro vrtání do plného materiálu je šířka záběru ostří $a_p = D/2$, pro vrtání do před zhotovené díry $a_p = (D-d)/2$. Po dosazení do předchozí rovnice má rovnice pro vrtání do plného materiálu odebíraným jedním břitem konečný tvar [3]:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{4} [\text{mm}^2] \quad (1.31)$$

a při vrtání do předvrtaného otvoru:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.32)$$

Celkový průřez třísky při vrtání do plného materiálu se pro dvoubřitý nástroj vypočítá podle vztahu:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{2} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.33)$$

a při předvrtaném otvoru podle vztahu:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{2} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.34)$$

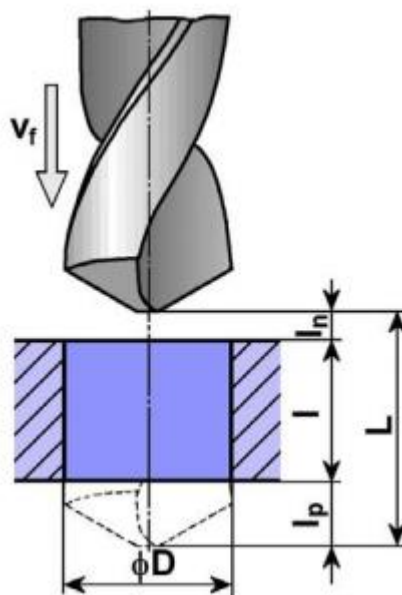
Jednotkový strojní čas při vrtání průchozího okruje vyjádřen na základě obr. 1.11 dle vztahu:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \text{ [min]}, \quad (1.35)$$

Pro běžné vrtáky s úhlem špičky $2\kappa=118^\circ$ je:

$$l_p = 0,3 \times D + (0,5 \div 1,0) \text{ [mm]}, \quad (1.36)$$

$$l_n = (0,5 \div 1,0) \text{ [mm]}, \quad (1.37)$$



Obr.1.11 Dráha vrtáku [3].

1.3.2 Nástroje

Nejčastěji používaným nástrojem pro vrtání otvorů jsou šroubovitě vrtáky. Jedná se o dvoubřité nástroje opatřené šroubovitými drážkami pro odvod třísek a přívod procesní kapaliny. Jmenovitý průměr vrtáku je měřen přes fazetky u špičky nástroje a to z důvodu zužování průměru směrem ke stopce, aby se snížilo tření mezi nástrojem a obráběným materiálem. Naopak jádro vrtáku směrem ke stopce se zesiluje z důvodu lepší tuhosti nástroje. Šroubovitě vrtáky jsou nejčastěji vyráběny z rychlořezných ocelí a slinutých karbidů bez povlakování nebo s povlakováním,

kteřé mají lepší otěruvzdorné vlastnosti. Tyto vrtáky mohou být také vyráběny s vnitřními kanálky pro přívod řezné kapaliny.

Kopinaté vrtáky jsou vrtáky s vysokou tuhostí, umožňující vrtání otvorů o průměru 10 až 128mm bez předchozího navrtávání, do poměru délky k průměru $L/D=3/1$. Menší průměry vrtáků jsou vyráběny z jednoho kusu, větší průměry se skládají z držáku a do něj mechanicky upnuté destičky ze slinutého karbidu nebo rychlořezné oceli, která je opatřena lamači třísek. Nevýhodou těchto vrtáků je horší přesnost a drsnost povrchu obrobených děr a špatný odvod třísek z místa řezu. Proto jsou používány jen pro vrtání mělkých otvorů, navrtávání a srážení hran.

Vrtáky na hluboké díry jsou speciálně konstruované nástroje, kdy jejich délka je rovna nebo větší desetinásobku jejich průměru. Mezi tyto nástroje lze zařadit dělové vrtáky, hlavňové vrtáky a ejektorové vrtáky. Dělové vrtáky jsou používány pro méně hluboké díry. Jsou to jednobřité nástroje s pracovní částí kolmou k ose vrtáku nebo mírně skloněnou. Vrtání se provádí do předvrtaných děr. Nevýhodou tohoto vrtáku je, že nedovoluje plynulý odvod třísek. Proto se musí pravidelně z místa řezu vytahovat a vzniklé třísky odstraňovat. Hlavňové vrtáky mají běžně jednu břitovou destičku a dvě vodítka. Tělo vrtáku má lomený profil pro odvod třísek nebo bývá duté, v tomto případě třísky odchází dutinou a nepoškozují povrch obráběné díry. Vrtání tímto nástrojem je vhodné pro přesnější díry. Počátek otvoru musí být navrtán odlišným nástrojem nebo je nutné, aby byl nástroj veden v pouzdru. Ejektorové vrtáky jsou složeny z vrtací hlavice, která je našroubována do vnější vrtací trubky. Procesní kapalina je přiváděna mezikružím mezi vnější a vnitřní trubicí, přičemž její část odchází štěrbinami ve vnitřní trubce, způsobuje ejektorový efekt. Třísky jsou strhávány od ostří procesní kapalinou. Ejektorové vrtání se používá pro přené vrtání děr od průměru 20 mm do 60 mm a délek asi do 3 m [2; 3].

1.3.3 Vrtačky

Pro vrtání, vyhrubování, vystružování, zahlubování je používáno vrtaček. Z konstrukčního hlediska dělíme vrtačky na stolní, sloupové, stojanové, radiální a speciální. Vřetenem stroje koná dva pohyby současně, rotační a posuvový, který umožňuje pinola ve kterém je vřetenem uloženo. Nástroj je upnut většinou do kužele ve vřeteně nebo pomocí sklíčidel v případě nástroje s válcovou stopkou. Velikost vrtaček je posuzována dle maximálního průměru díry, kterou lze na vrtačce vrtat zcela do oceli střední pevnosti.

Stolní vrtačky mají nejjednodušší konstrukci. Pro změnu otáček jsou používány stupňové řemenice s klínovým řemenem. Pohyb pinoly je proveden ručně. Jsou vyráběny jako jednovřetenové nebo vícevřetenové, ustavené v řadě za sebou na pracovním stole.

Větší vrtačky se vyrábějí jako sloupové nebo stojanové. U sloupových vrtaček je stůl i vřeteník polohovatelný ve vertikálním směru po sloupu. U stojanových vrtaček, které mají vyšší tuhost, je stůl a vřeteník přesouván po vedení stojanu skříňovitěho průřezu. Vyrábějí se do průměru vrtání až 100 mm.

Radiální vrtačky slouží k obrábění rozměrných obrobků, se kterými lze velmi obtížně manipulovat. Jejich charakteristickou částí je otočné rameno, po kterém se po vedení pohybuje ve vodorovném směru vřeteník. To umožňuje nastavit vrtací vřetenem s nástrojem na místo vrtání.

Souřadnicové vyvrtávačky slouží k vyvrtávání a dokončovací operacím frézování s maximální přesností. Nastavené rozměry vychází z nulového bodu obrobku podle souřadnicového měřicího systému s přesnostmi do 0,002 mm. Tyto vrtačky mají většinou NC nebo CNC řízení [2; 3].

1.4 Broušení

Broušení je proces obrábění realizovaný zrný brusiva spojenými pojivem v mnohabřitý nástroj, brousicí kotouč. Lze jej zařadit mezi nejstarší metody obrábění materiálu. V dnešní době je tato metoda využívána hlavně pro opracování součástí na přesný geometrický tvar a rozměry s vysokou jakostí povrchu, obrábění těžkoobrobitelných materiálů a pro obrábění součástí, kde je broušení hospodárnější způsob obrobení. Postupným vývojem se tato technologie rozšiřuje z původní oblasti dokončování i na hrubovací operace a lze říci, že může konkurovat ostatním metodám obrábění. Hlavními rysy broušení jsou nepravidelný úběr třísky jednotlivými zrný brusiva v důsledku různé geometrické formy zrn a nepravidelnosti jejich rozmístění na nástroji, malé průřezy třísek a vysoké hodnoty řezné rychlosti, velké množství vzniklého tepla, tudíž je zapotřebí vydatné chlazení obrobku, úhel čela zrn není konstantní a je většinou záporný a schopnost samoostření. To je umožněno poměrně slabým upevněním zrna v pojivu, čímž je omezena maximální řezná síla, které je schopno zrno přenést. Při správně zvolených parametrech obrábění se otupená zrna vylomí a uvolní místo novým, ostrým zrnům. Podle tvaru obrobeného povrchu a způsobu jeho vytváření je rozlišováno: rovinné broušení, broušení na kulato, tvarové broušení, kopírovací broušení a broušení tvarovými brousicími kotouči. Podle aktivní části brousicího kotouče se rozeznává obvodové broušení a čelní broušení, podle vzájemné polohy brousicího kotouče a obrobku vnější a vnitřní broušení. Z hlediska hlavního pohybu posuvu stolu vzhledem k brousicímu kotouči se definuje axiální broušení, tangenciální broušení, radiální broušení, obvodové zapichovací a čelní zapichovací broušení. V případě axiálního broušení je hlavní posuv rovnoběžný s osou kotouče, pro tangenciální broušení je hlavní posuv stolu rovnoběžný s vektorem obvodové rychlosti kotouče, při radiálním broušení je hlavní posuv radiální vzhledem k brousicímu kotouči. V posledních případech je posuv stolu plynulý radiální nebo axiální [2; 3].

1.4.1 Základní výpočty

Pohyby a rychlosti při broušení jsou definovány na základě charakteristik jednotlivých způsobů broušení – např. pro obvodové vnější broušení na kulato axiálním způsobem. Řezná rychlost v_c je vyjádřena vztahem:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60 \cdot 1000} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.38)$$

kde: d_s [mm] průměr brousicího kotouče,
 n_s [min⁻¹] frekvence otáčení brousicího kotouče.

Obvodová rychlost obrobku v_w při broušení na kulato je vyjádřena vztahem

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{60 \cdot 1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.39)$$

kde: d_w [mm] průměr obrobku,
 n_w [min⁻¹] frekvence otáčení obrobku.

Průřez třísky A_D závisí na způsobu broušení. Pro vnější obvodové axiální broušení na kulato platí:

$$A_D = f_a \cdot h_{eq} = \frac{10^3 \cdot v_{fa} \cdot h_{eq}}{n_w} [\text{mm}^2] \quad (1.40)$$

kde: h_{eq} [mm] je ekvivalentní tloušťka broušení a je vypočítána následovně:

$$h_{eq} = \frac{v_w}{60 \cdot v_c} \cdot f_a [\text{mm}], \quad (1.41)$$

Výpočet hodnoty jednotkového strojního času závisí také na způsobu broušení. Pro obvodové axiální broušení na kulato, s radiálním posuvem stolu o hodnotu f_r , na každý zdvih stolu, bez vyjiskřování, je jednotkový strojní čas stanoven dle vztahu

$$t_{AS} = \frac{l_a}{f_a \cdot n_w} \cdot \frac{p}{2 \cdot f_r} = \frac{l_a \cdot p}{10^3 \cdot v_{fa} \cdot f_r} [\text{min}] \quad (1.42)$$

1.4.2 Nástroje

Brousicí nástroj je tvořen zrny brusiva pevně vázaného v tuhých nebo pružných tělesech různých velikostí a tvarů. Mohou to být brousicí, řezací, drážkovací kotouče, brousicí tělíska, speciální brousicí kameny, pilníky nebo brusné plátina či papír. Největší rozsah užití pro proces broušení z předchozích vyjmenovaných nástrojů jsou brousicí kotouče.

Brousicí kotouče jsou charakterizovány podle druhu brousicího materiálu, zrnitosti brusiva, tvrdostí kotouče, strukturou, druhem pojiva a rozměry.

Podle druhu a původu lze rozdělit používané brusivo na přírodní a syntetické. Mezi přírodní materiály lze zařadit diamant, křemičitý písek, granát, přírodní korund aj. Kromě diamantu jsou tyto materiály využívány v průmyslu jen výjimečně. Teprve syntetické materiály jako jsou karbidy křemíku, oxid hlinitý, umělý diamant a kubický nitrid boru nabyly v průmyslu využití. Nejpoužívanějším materiálem je umělý korund, jehož hlavní složkou je oxid hlinitý. Je vhodný pro broušení oceli, oceli na odlitky, temperované litiny a tvrdé bronzы. Kotouče vyrobené z karbidu křemíku jsou vhodné pro broušení šedé litiny, mosazi, mědi, lehkých kovů a slinutých karbidů.

Dalším charakteristickým prvkem je zrnitost. Zrnitost je vyjadřována měrným rozměrem zrna hlavní frakce v setinách milimetru. Volí se podle požadované drsnosti povrchu na obrobku a materiálu, ze kterého je vyroben. Čím menší je požadována drsnost, tím je zrnitost menší. Větší zrnitost je volena v případech větších úběrů a broušení měkkých a houževnatých materiálů.

Tvrdost kotouče nejvíce ovlivňuje průběh a výsledek broušení. Tento údaj vyjadřuje soudržnost brousicího nástroje, nikoliv jeho skutečnou tvrdost. Je definován jako odpor, který klade pojivo brousicího nástroje proti vylomení nebo uvolnění zrn brousicího materiálu. Tvrdost se volí následovně, v případě tvrdého materiálu obrobku je použito měkkého brousicího nástroje a naopak.

Struktura brousicího nástroje je tvořena zrny, pevně spojenými pojivovými můstky, mezi kterými zůstávají póry. Je posuzována podle poměru objemu pórů k celkovému objemu nástroje. Jsou rozlišovány tři typy. Hutné kotouče, pro broušení tvrdých a křehkých materiálů, pórovité kotouče vhodné pro houževnaté materiály a značně pórovité pro broušení součástí, které se nesmí příliš tepelně ovlivnit.

Zrna brusiva jsou spojována a vázána pojivem tak, aby nástroje měly vhodné tvary,

rozměry a vlastnosti, které se zachovávají i za vysokých teplot a tlaků při broušení. Jsou rozlišovány dva typy pojiv, anorganická a organická. Do anorganických pojiv je zařazeno keramické pojivo, které je nejrozšířenějším druhem a pokrývá asi 80 % výroby všech brousicích nástrojů. Velkou výhodou tohoto pojiva je široké spektrum struktur od hutné struktury s téměř nulovou pórovitostí, až do velmi pórovitých struktur s obsahem pórů nad 60 %. Nejsou náchylná na vlhkost a teplotu, je tedy umožněno skladování po neomezenou dobu. Další výhodou je možnost výroby nástrojů všemi známými technologiemi např. lisování, lití, střešení. Keramická pojiva jsou křehká, což má negativní vliv vůči rázům a bočním tlakům. Také nižší pevnost nedovoluje překonat obvodovou rychlost kotoučů 60 m/s. Další typ anorganického pojiva je magnezitové pojivo. Je vyráběno jednoduchým způsobem, nemusí se sušit ani vypalovat a je možné vyrábět kotouče velkých rozměrů. Hlavní předností tohoto pojiva je, že pracuje s nižšími teplotami při broušení, to je využíváno při ostření nástrojů z uhlíkové oceli. Z organických pojiv jsou nejrozšířenější pojiva z umělých pryskyřic, které vynikají vysokou pevností, odolností vůči rázům a bočním tlakům. Tím jsou předurčeny pro výrobu řezacích kotoučů. Teplem při broušení pojivo měkne a ve spojení s jemnými zrny brousicího materiálu je dosahováno nízké drsnosti a vysokého lesku broušené plochy. Dalšími pojivy jsou pryžové, které jsou vyráběny z přírodního nebo umělého kaučuku. Vyznačují se vysokou pružností a využívají se pro výrobu řezacích a drážkovacích kotoučů, leštících kotoučů a podávacích kotoučů pro bezhroté brusky [2; 3].

1.4.3 Brusky

Představitelem nejrozšířenějšího typu brousicího stroje pro broušení rotačních ploch jsou hrotové brusky, které jsou vyráběny jako univerzální. Je možné na nich brousit válcové, kuželové a čelní plochy, popřípadě s přídatným vřeteníkem brousit i díry. Na zadní části stroje je uložen vřeteník, který koná přísuv do řezu a jelikož je uložen otočně, je možné broušení strmých kuželů. Naproti vřeteníku je umístěno lože, po jehož vedení se pohybuje stůl s pracovním vřeteníkem a koníkem. Horní část stolu je natáčecí, je tedy možné brousit dlouhé kužele. Od tohoto stroje jsou odvozeny zvláštní hrotové brusky pro sériovou a hromadnou výrobu, které jsou např. vybaveny větším počtem brousicích kotoučů nebo vřeteníků.

V sériové a hromadné výrobě jsou používány bezhroté brusky, u kterých není vyžadováno zařízení pro upínání obrobků. Tyto stroje jsou konstruovány nejčastěji pro vnější broušení, ale také v menším rozsahu pro vnitřní broušení. Skládají se ze dvou vřeteníků, brousicího, na kterém je umístěn brousicí kotouč a podávacího, který lze přestavovat na požadovaný průměr a natáčet tak, aby se dosáhlo mimoběžnosti os, a tím se vyvodila složka pohybu pro podélný posuv.

Vodorovné rovinné brusky jsou využívány pro broušení rovinných ploch. Jsou nejrozšířenější bruskou se stolem konajícím přímočarý vratný pohyb. Jsou vhodné pro kusovou a malosériovou výrobu s vyššími požadavky na přesnost součástí. Jsou charakteristické horizontální osou vřetení, který je svisle přestavitelný. Obrobek je upínán pomocí elektromagnetického upínače umístěného na pracovním stole. Velikost stroje udává šířka pracovního stolu.

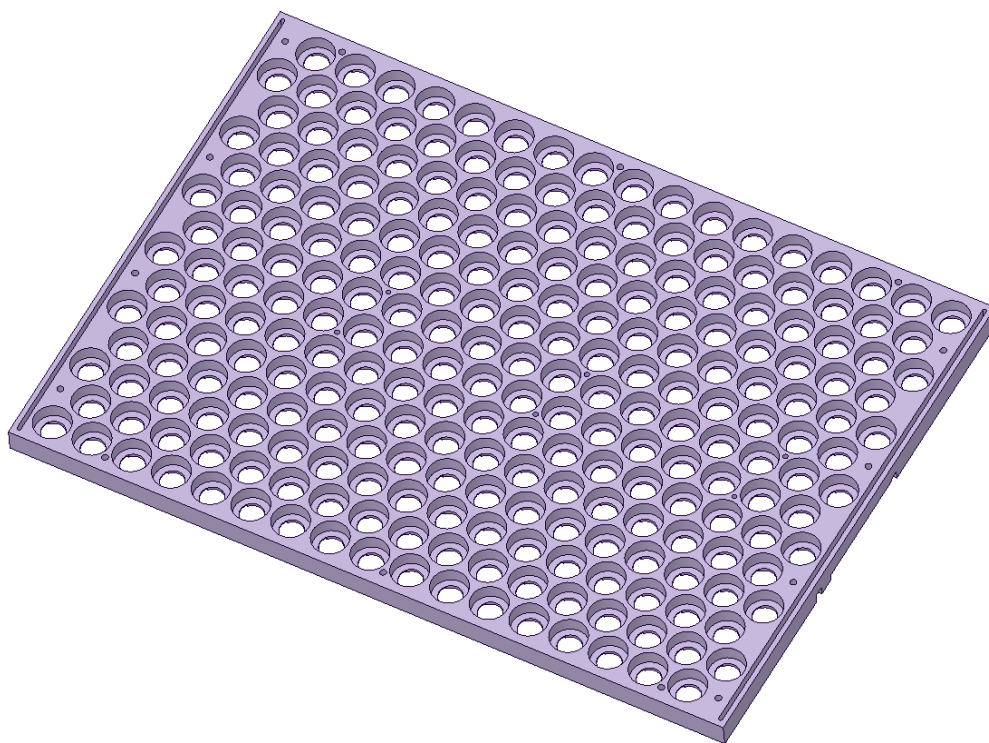
Svislé rovinné brusky vynikají vysokým úběrem třísek, které v řadě případů předčí i frézovací nebo hoblovací stroje. To má ale nepříznivý vliv na přesnost a kvalitu obrobenej plochy. Pracovní stůl koná pouze přímočarý vratný pohyb. Je tedy nutné, aby brousicí kotouč byl větší, než je šířka stolu. Proto se brousicí kotouče skládají z několika brousicích segmentů. Obrobky se také upínají pomocí magnetické desky, umístěné na pracovním stole [2; 3].

2 ROZBOR TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE DÍLU

Pro zhotovení výrobku se podílí ne malá část činností, od průzkumu společenské potřeby výrobku, jeho konstrukčního návrhu, zabezpečení potřebného výrobního zařízení a materiálu až po jeho finální prodej. Konečný efekt výroby je nejvýrazněji ovlivněn jeho konstrukcí a výrobou. Konstrukce výrobku je předepsána výkresovou dokumentací, způsob a postup výroby je definován technologickou dokumentací. Obě tyto činnosti se posuzují hodnocením tzv. technologičnosti konstrukce. Technologičnost konstrukce představuje snahu o řešení konstrukce výrobku tak, aby byla zabezpečena jeho nejekonomičtější a nejefektivnější výroba, se zachováním jeho správné funkce [2].

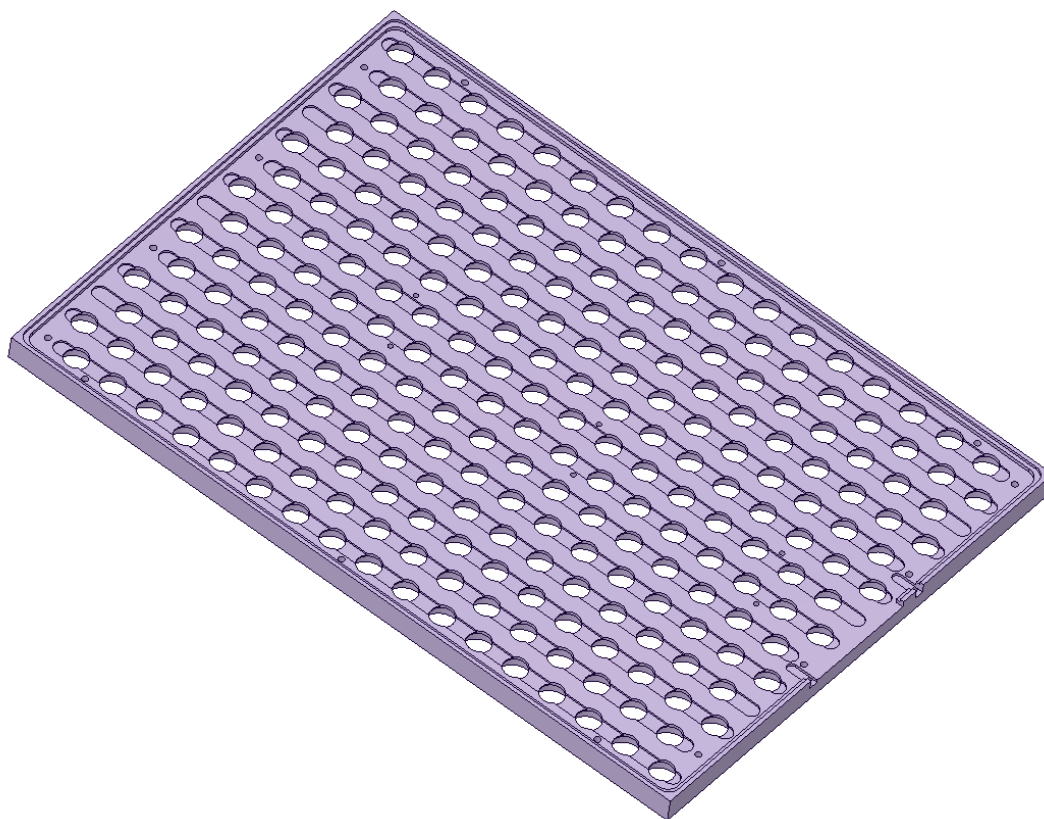
2.1 Popis součásti

Řešenou součástí pro výrobu je rovinná plastová deska o základních rozměrech 378x264 mm a výškou 13 mm. První strana desky viz obr.2.1 je tvořena z největší části průchozími dírami se zahloubením. Tvoří jí celkem 238 děr o průměru 12mm a zahloubení těchto děr pro bateriové články o průměru 18,6 mm do hloubky se vzdáleností 5,2 mm od spodní hrany. Dalšími prvky této strany jsou dvě drážky na bocích o šířce 2 mm a délce 256 mm za účelem vložení příček spojující dvě desky, horní a spodní, které jsou zrcadlově stejné, dohromady. Posledními útvary jsou průchozí díry o průměru 3,2 mm, které jsou obsaženy celkem čtrnáctkrát a 6 děr o průměru 2,5 mm.



Obr.2.1 První strana součásti

Druhá strana součásti viz obr.2.2 je tvořena velkou otevřenou dutinou, která vytváří odstupňovaný tenký rámeček po obvodu celé součásti. Celkem je ze dvou stupňů. První stupeň se nachází v hloubce 1,5 mm, jeho rozměr je $374^{+0,3}_0 \times 260^{+0,3}_0$ a na jeho dnu dosedá víko desky. Druhý stupeň je o 2 mm z každé strany menší a sahá do hloubky 3,5mm. Dno dutiny je opatřeno čtrnácti drážkami o šířce 8 mm, délce 380 mm a hloubce 1 mm. Tyto drážky jsou vedeny ve 14-ti řadách protínající díry se zahloubením z druhé strany. Posledním útvarem jsou dvě otevřené drážky na jedné straně součásti pro usazení kotvících prvků.



Obr.2.2 Druhá strana součásti

2.2 Materiál součásti

Součást je vyrobená z plastu. Plasty jsou polymery, u nichž vnější namáhání způsobují převážně nevratné deformace, které jsou podle chování při zahřívání rozděleny do dvou skupin, na termoplasty a reaktoplasty. Za běžných podmínek jsou většinou tvrdé a často i křehké. Druhou skupinou polymerů jsou elastomery. Jedná se o velmi pružné materiály s nízkou tuhostí. Při zatěžování vnějšími silami se deformují bez porušení a jejich deformace je vratná.

Termoplasty jsou materiály, u kterých při zahřívání dochází k jejich měknutí a lze je tvářet. Při zahřívání neprobíhají žádné chemické reakce a během zpracování

se nemění jejich chemická struktura. Změny, kterými materiál prochází, mají pouze fyzikální charakter a proces měknutí a tuhnutí je vratný.

Reaktoplasty jsou materiály, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen určitou dobu po zahřátí. Při dalším zahřívání dochází k chemickým změnám, které způsobují zesíťování struktury a tím dochází k vytvrzování a stávají se netavitelné a nerozpustné. Je to nevratný proces, kdy materiál již nelze jakkoli zpracovávat. Výrobky z reaktoplastů se vyznačují vysokou chemickou a tepelnou odolností, tvrdostí a tuhostí [4].

Součást je vyrobená z termoplastu, konkrétně se jedná o PA 66. Tento materiál je nazýván polyamid a patří mezi konstrukční plasty, které jsou známé pro svou mechanickou pevnost, nízkým tečením při dlouhodobém zatížení a dobrými elektroizolačními vlastnostmi. Proto jsou často využívány pro výrobu namáhaných součástí. Vyznačují se také nízkým koeficientem tření, což má za následek vysokou odolnost proti odírání. Výhodou tohoto materiálu je barvitelnost, ta je u typů s přísadami téměř neomezená. Polyamidy jsou vyráběny z různých monomerů několika odlišnými způsoby, proto jich je více druhů jako např. PA-6, PA-66, PA-11, PA-12, atd. Tyto čísla za označením reprezentují výchozí monomery podle počtu atomů uhlíku v jejich molekulách. Typické vlastnosti polyamidů jsou uvedeny v tabulce 2.1 [4].

Tab.2.1 Typické vlastností polyamidů [4].

Název polyamidu	Hustota [g/cm ³]	Modul pružnosti [MPa]		Teplota tání [°C]	Navlhavost [%]
		Suchý stav	Navlhlý stav		
PA6	1,10÷1,15	1100÷3500	1000÷2500	215÷225	2,5÷3,0
Pa66	1,12÷1,15	2600÷3600	1000÷2800	250÷260	2,5÷2,8
PA601	1,06÷1,08	2400	1500	215	1,4
PA11	1,01÷1,04	1200÷1600	1000	175÷187	1
PA12	1,01÷1,03	1300÷2100	1200	170÷180	0,9÷1,8

2.3 Vliv technologičnosti konstrukce na obrábění součásti

Součást je tvarově jednoduchá, skládá se ze základních geometrických prvků, jako jsou kruhové a obdélníkové útvary, které jsou jednoduše obrobitelné. Neexistují zde žádné situace, kde bychom se s nástroji nemohli dostat. Dle výkresové dokumentace nejsou kladeny vyšší nároky na přesnost výroby. Jediným tolerovaným rozměrem na výkrese je šířka a délka dutiny pro víko desky s maximální dovolenou nepřesností 0,3mm. Nicméně v popisovém poli je uvedeno všeobecné tolerování, které upravuje veškeré netolerované rozměry a je rozděleno do čtyř tříd přesností délkových a úhlových rozměrů, které jsou uvedeny v tab. 2.2 a třemi třídami přesnosti geometrických tvarů a poloh viz tab. 2.3, 2.4, 2.5. Na výkrese je předepsána tolerance ISO 2768m-H, která popisuje střední třídu přesnosti délkových a úhlových rozměrů a nejpřesnější třídu přesnosti geometrických tvarů a polohy. Součást by neměl být problém obrobit s požadovanými rozměry, protože stroje, kterých je využito pro zhotovení, pracují s přesností $\pm 0,01$ mm a požadované tolerance jsou v řádech desetin milimetru. Co se týká geometrických požadavků, bude polotovar pevně upnut v přípravku, pomocí upínek po obvodu a přepážkou, rozdělující proces obrábění na dvě části. To zaručí, že se nebude součást jakkoli prohýbat či mít snahu se vytahovat a bude vyrobena v požadovaných tolerancích [5].

Tab.2.2 Velikosti mezních úchylek netolerovaných rozměrů [5].

Třída přesnosti		Mezní úchytky pro základní rozsah rozměrů						
označení	název	0,5 do 3	přes 3 do 6	přes 6 do 30	přes 30 do 120	přes 120 do 400	přes 400 do 1000	přes 1000 do 2000
f	jemná	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$
m	střední	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$
c	hrubá	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$
v	velmi hrubá		$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$	$\pm 4,0$	$\pm 4,0$

Tab.2.3 třídy přesnosti přímosti a rovinnosti [5].

třída přesnosti	do 10	přes 10 do 30	přes 30 do 100	přes 100 do 300	přes 300 do 1000	přes 1000 do 3000
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6

Tab.2.3 třídy přesnosti pro tolerance kolmosti [5].

třída přesnosti	do 100	přes 100 do 300	přes 300 do 1000	přes 1000 do 3000
H	0,2	0,3	0,4	0,5
K	0,4	0,6	0,8	1
L	0,6	1	1,5	2

Tab.2.3 třídy přesnosti pro tolerance souměrnosti [5].

třída přesnosti	do 100	přes 100 do 300	přes 300 do 1000	přes 1000 do 3000
H	0,5			
K	0,6		0,8	1
L	0,6	1	1,5	2

Z hlediska obrábění materiálu musí být brán zřetel na to, že se nejedná o ocel nebo různé slitiny, ale o plast. Má tedy odlišné vlastnosti jako např. malá tepelná vodivost, která způsobuje větší tepelné namáhání břitu nástroje a tím dochází k většímu opotřebení, také velká přilnavost materiálu na břit nástroje má vliv na jeho opotřebení. Velkou roli hraje vznik tepla v místě řezu, plast se začne zahřívat a tavit. Je tedy vhodné, aby u tohoto typu materiálu byl kladen velký důraz na dobrý odvod tepla z místa řezu a nástroje by měly být ostré a mít vyleštěné břity. Kdyby tomu tak nebylo docházelo by k nalepování materiálu na břity nástroje [6].

3 ROZBOR STÁVAJÍCÍCH TECHNOLOGICKÝCH MOŽNOSTÍ FIRMY

3.1 Představení firmy

Výroba dané součásti byla uskutečněna ve strojírenské firmě, která působí na trhu od roku 2001. Jedná se o malou firmu, čítající 13 zaměstnanců se sídlem v Hulíně. Hlavní činnost firmy je zaměřena na kusovou a prototypovou výrobu rovinných, rotačních i tvarově komplikovaných součástí, které mohou být definovány pomocí výkresové dokumentace nebo formou 3D modelů za podpory CAD softwarů. Následně jsou tyto modely zpracovávány v CAM softwarech pro vytvoření jejich technologického procesu obrobění. Firma, jelikož má široké spektrum výroby, disponuje mnoha typy strojů, od moderních CNC obráběcích center až po klasické konvenční stroje. Kontrola přesnosti výroby je hlídána v případech přesnějších výrobků pomocí 3D souřadnicového měřicího zařízení a v případech běžnějších kontrol pomocí 2D lineárního výškoměru a ručních dílenských měřidel.

3.2 CNC obráběcí stroje

Pro frézování součástí pomocí počítačem řízených strojů je firma vybavená třemi obráběcími stroji, které jsou zobrazeny na obr.3.1, pro soustružení jedním strojem obr.3.2 a jedním strojem pro obrábění drážek obr.3.2.

Prvním z frézovacích strojů je vertikální obráběcí centrum Akira Seiki SV815. Tento stroj je charakteristický svým uzavřeným prostorem pro obrábění, kde se nachází pracovní stůl o rozměrech 950x480 mm, pracovní vřeteno o výkonu 31 kW, které je schopné dosáhnout otáček až 15000 min^{-1} , 32-pozicový zásobník nástrojů s ramenovým podavačem nástrojů a dopravník pro kontinuální odvádění třísek pryč z obráběcího prostoru. Je řízen pomocí systému Mitsubishi M700, který je programován pomocí ISO kódů nebo za pomoci postprocesoru, odladěném programování v CAM systému, který je více upřednostňován. Dalším strojem je CNC frézka Optimill F105, který má také uzavřený prostor pro obrábění, ale už se jedná o menší a méně výkonný stroj. Tento stroj je řízen základním systémem od společnosti Siemens, Sinumerikem 808D. Z důvodu zdlouhavého programování přímo v tomto systému je používán taktéž jako u předchozího stroje CAM systém. Pracovní prostor se sestává z pracovního stolu o rozměrech 800x320 mm, vřetena o výkonu 11 kW, otáčkami až 10000 min^{-1} a karuselový výměník nástrojů pro 12 nástrojů. Tento stroj již nemá ramenový podavač nástrojů, tudíž výměna nástrojů probíhá pohybem celého zásobníku pod vřeteno, kde si vřeteno samo vytáhne požadovaný nástroj, čím je proces obrábění pomalejší. Posledním počítačem řízeným strojem pro frézování je konzolová frézka FV25 CNC. Tento stroj je nejstarší, má tedy zastaralý řídicí systém Heidenhain 360, který není tak intuitivní jak modernější zařízení. Jsou zde prováděny vrtací a lehké frézovací operace součástí o maximální hmotnosti 200 kg a rozměrech pro stůl o velikosti 254x1000 mm. Vřeteno je uložené ve výsuvné pinole a koná pohyb v ose Z, ostatní pohyby X a Y koná stůl. S tímto vřetenem jde docílit maximálních otáček 6000 min^{-1} [7,8,9].



Obr.3.1 a) Optimal F105, b) Akira seiki, c) FV25 CNC [7,8,9].

Pro soustružení je firma vybavená soustruhem české produkce ze Sezimova Ústí Masturnem 550i, který vyniká svou jednoduchostí obsluhy a je vhodný pro kusovou a malosériovou výrobu. Obrábění je možné provádět v ručním režimu řízení jako na běžném konvenčním stroji nebo v automatickém cyklu za pomoci CNC systému, který je v tomto případě řízen Heidenhainem manualplus 620, pracujícího na bázi pevných cyklů. Jedná se o menší variantu dodávaných strojů. S maximální vzdáleností soustružení 900mm a maximálním obráběným průměrem 500mm je schopen obrábět obrobky s hmotností až 1000 kg. Je vybaven vřetenem o výkonu 17kW, které se dokáže roztočit na 3000 min^{-1} . Pro upínání nástrojů je využíváno držáků, které se upnou do revolverové hlavy multiplex, které zaručuje rychlé a přesné napolohování až osmi nástrojů. Stroj je ještě vybaven pohyblivou lunetou a koníkem pro podepření delších rotačních součástí [10].



Obr.3.2 Masturn 550i [10].

Posledním typem počítačově řízeného stroje v této firmě je CNC vertikální obrážka. Je řízena pomocí vlastního řídicího systému Syntec, který ovládá 3 osy (X, Y a rotační stůl). Program je tvořen do předem připravených cyklů nebo pomocí ISO programování použitím G a M funkcí. Umožňuje obrábět více drážek na jednom obrobku nebo vytvořit drážku větší šířky než je šířka nástroje postupným rozjížděním do stran. Také řídí automatický posuv do řezu a automatický odskok při zpětném chodu, aby dosáhl lepší kvality povrchu drážky a delší životnosti nástroje [11].

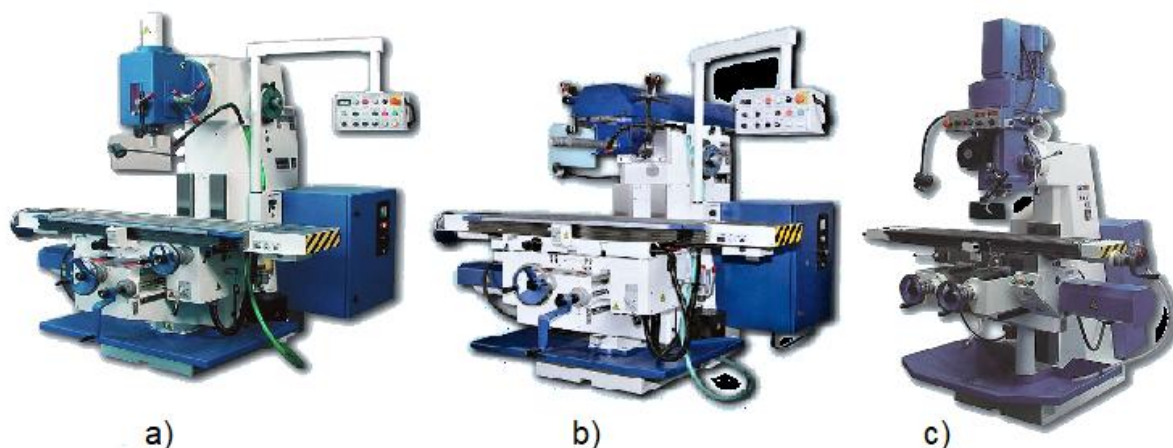


Obr.3.3 CNC obrážka [11].

3.3 Konvenční stroje

Další součástí strojového parku jsou konvenční stroje. Tyto stroje vynikají svou tuhostí a jednoduchostí na obsluhu. Většina strojů je staršího data výroby, ale v minulých letech prošly generálními opravami, tudíž splňují veškeré požadavky, které jsou na ně kladeny.

Pro frézování je firma věrná značce TOS Olomouc. Je vybavená celkem třemi stroji od této společnosti. Prvním z nich je konzolová frézka FGV32. Jedná se o vertikální vysoce výkonnou frézku s širokým rozsahem frézovacích operací. Rozsah pracovních otáček a posuvů umožňuje hospodárné obrábění různých druhů materiálů. Dalším strojem je univerzální frézka FGU32. Je to obdobný stroj jako předešlý, ale je zde možnost přestavování stroje na horizontální a vertikální. Oba tyto stroje jsou zejména používány pro hrubovací operace a přípravu polotovaru zaúhlováním pro CNC obráběcí stroje. Velikosti stolů jsou 360x1400 mm. Důkazem, že se jedná o výkonné frézky je i vřeteno s kuželem ISO 50, které dokáže přenášet větší síly. Rozsah otáček a posuvů se volí pomocí převodovky a otáčky mohou dosáhnout až 1400 min^{-1} . Třetím frézovacím strojem je také konzolová frézka, F2V-R. Jedná se o menší stroj, který má vřeteník s vřetenem uložený ve výsuvné pinole. Je používán pro vrtací operace a frézování složitějších součástí, které obsahují útvary pod různými úhly. Stroj je vybaven pneumatickým upínáním a plynule nastavitelnými otáčkami pomocí frekvenčního měniče. To umožňuje rychlou výměnu nástrojů, která zde často probíhá. Pracovní plocha má 300x1300mm a otáčky vřetene mohou dosáhnout 4000 min^{-1} [12].



Obr.3.3 Frézky a) FGV32 b) FGU32 c) FV2-R [12].

Soustružení je prováděno na dvou soustruzích SV18R a SN50C. Na soustruhu SV18R jsou prováděny lehké hrubovací a dokončovací operace menších součástí s nižší hmotností, zatímco SN50C je využíván převážně pro hrubování a dokončování velkých a objemných součástí. Je to velmi tuhý stroj, lze tedy vrtat větší průměry děr velkými vrtáky a při hrubování lze nastavit větší šířku záběru hlavního ostří. K tomuto stroji patří také jeřáb, kterým je možné těžké polotovary dopravit do pracovního prostoru stroje. Oba stroje jsou schopné soustružit v délce 1000 mm, pro SN50C je maximální průměr obrábění 500 mm a SV18R 350 mm [13;14].

Firma se také zabývá na kulato a na plocho. Pro broušení na plocho je používán stroj HFS 4080. Jedná se o horizontální brusku vybavenou automatickým vertikálním posuvem vřetene, jehož šířku záběru a počet záběrů může libovolně obsluha volit. Rozměry pro broušení jsou 400x1000 mm. Broušení na kulato je prováděno na brusce RSM1000, na které lze brousit válcové součásti v délce 1000 mm a průměru až 320 mm [15].

3.4 Stroje na dělení materiálu

Před zahájením výroby součástí na strojích uvedených výše, je nutné připravit polotovary z hutního materiálu. To je prováděno na pásových pilách Pilous ARG 250 a ARG 520DC A.S.F. Menší z nich Pilous ARG 250 je využíván pro kusovou výrobu malých součástí z válcovaných a tažených tyčí různých průřezů s maximálním rozevřením čelistí 300 mm. Pila ARG 520 DC A.S.F je využívána převážně pro řezání ocelových profilů, které mohou nabývat rozměrů až 700x420 mm popřípadě 500x500 mm [16].

3.5 Softwarové vybavení firmy

Firma používá dva systémy pro výrobu součástí. Jedním z nich je CAD systém Spaceclaim. V dnešní době většina technické dokumentace výrobků je zasílána jak ve formátu 2D výkresu, tak i ve 3D modelu. Tento program je využíván pro vytváření polotovarů nebo v případech různých úprav a oprav, které jsou potřeba pro následné zpracování v CAM systému. Spaceclaim nachází také využití v případech, nedostatečné výkresové dokumentace, kdy jsou neokótované rozměry přímo odměřeny na modelu a nedochází tak ke zdoluhavým odstávkám stroje a problém je vyřešen v krátkém čase. Možností je i navrhování nových součástí a tvoření její výkresové dokumentace, převážně je toto využito pro výrobu vlastních přípravků [17].

Dalším systémem je Edgecam. Je to CAM systém, který je používán k tvorbě programů pro obrábění součástí na CNC obráběcích strojích, konkrétně na strojích Akira seiki a Optimill F105. Tyto stroje jsou postprocesorově odladěné, takže je možné pro ně generovat NC kód, který je jejich řídicí systém schopen přečíst a vykonat požadované obráběcí úkony, které byly vytvořeny v programu. Tento software velmi usnadňuje tvorbu programů pro tvarově složitější součásti. Ve srovnání s programováním přímo na stroji pomocí ISO kódů nebo cyklů je programování v Edgecamu rychlejší, pohodlnější a lze dosáhnout lepšího využití strojů, kdy dělník nemusí řešit program a může být využit u obsluhy dalších strojů nebo k provádění vedlejších prací [18].

4 NÁVRH MOŽNÝCH VARIANT TECHNOLOGIE VELKOSÉRIOVÉ VÝROBY

4.1 Návrh výroby polotovaru pro operace frézování a vrtání

V této podkapitole jsou řešeny možnosti výroby polotovaru pro jeho následné obrábění. Jsou zde uvedeny dva případy. První, výroba polotovaru ve firmě vlastními technologiemi a druhý, výroba polotovaru v kooperaci.

4.1.1 Výroba polotovaru v rámci vlastního vybavení firmy

První variantou výroby je zhotovení součásti pouze pomocí technologických možností firmy. Výchozími polotovary pro výrobu jsou extrudované desky o rozměrech 620x3000x16 mm. Tyto desky jsou děleny pomocí pásové pily ARG 520DC S.A.F. na rozměr délky 378 mm a poté jsou tyto přířezy řezány na šířku 264 mm. Jelikož nejsou kladeny vyšší nároky na přesnost a jakost povrchu, další operace týkající se obvodu součásti nejsou zapotřebí, řezy jsou provedeny v předepsané všeobecné toleranci $\pm 0,5$ mm. Pro tuto variantu je níže vypočítána spotřeba materiálu a jeho stupeň využití.

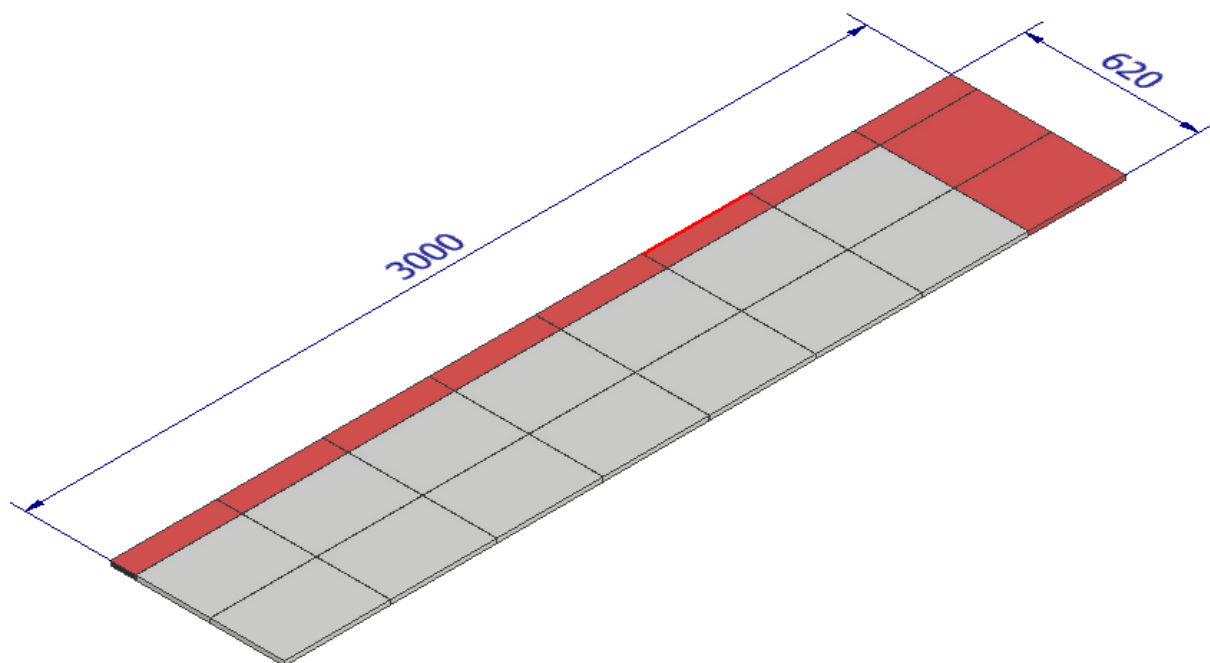
Spotřeba materiálu a stupeň využití materiálu:

Stanovení hmotnosti hotové součásti Q_s [kg]:

$$Q_s = V_s \cdot \rho \cdot 10^{-6} \quad (4.1)$$
$$Q_s = 280243,0518 \cdot 1,15 \cdot 10^{-6} = 0,322 \text{ kg}$$

Výchozím polotovarem pro řezání je extrudovaná deska o rozměru 620x3000x16 mm, která je řezána na požadované rozměry 378x264mm viz obr.4.1.

Kde: $a = 378\text{mm}$, délka polotovaru
 $b = 264\text{mm}$, šířka polotovaru
 $c = 16\text{mm}$, výška polotovaru
 $l_{d1} = 3000\text{mm}$, délka extrudované desky
 $l_{d2} = 620\text{mm}$, šířka extrudované desky



Obr.4.1 Využití materiálu z desky 620x3000mm

Hmotnost přířezu:”

$$Q_{pA} = a \cdot b \cdot c \cdot \rho \cdot 10^{-6} = 378 \cdot 264 \cdot 16 \cdot 1,15 \cdot 10^{-6} = 1,836 \text{ kg} \cdot \text{ks}^{-1} \quad (4.2)$$

Počet přířezů z desky:

$$n_{A12} = \frac{l_{d1}}{a+l_{uA}} = \frac{3000}{378+1,1} = 7,91 \Rightarrow 7 \text{ ks} \quad (4.3)$$

$$n_{A21} = \frac{l_{d2}}{b+l_{uA}} = \frac{620}{264+1,1} = 2,33 \Rightarrow 2 \text{ ks} \quad (4.4)$$

$$n_{A34} = \frac{l_{d1}}{b+l_{uA}} = \frac{3000}{264+1,1} = 11,31 \Rightarrow 11 \text{ ks}$$

$$n_{A43} = \frac{l_{d2}}{a+l_{uA}} = \frac{620}{378+1,1} = 1,63 \Rightarrow 1 \text{ ks}$$

$$n_A = n_{A12} \cdot n_{A21} = 7 \cdot 2 = 14 \text{ ks} \quad (4.5)$$

Délka nevyužití části desky:

$$l_{kA1} = 3\,000 - n_{A1} \cdot (a + l_{uA}) = 3\,000 - [7 \cdot (378 + 1,1)] = 352,9\text{mm} \quad (4.6)$$

$$l_{kA2} = 3\,000 - n_{A2} \cdot (b + l_{uA}) = 620 - [2 \cdot (264 + 1,1)] = 89,8\text{mm} \quad (4.7)$$

l_{uA} - je šířka prořezu (při použití pásové pily činí 1,1mm) [mm]

Odpad vzniklý při obrábění:

$$q_{oA} = Q_{pA} - Q_S = 1,836 - 2,34 = 3,62 \text{ kg} \cdot \text{ks}^{-1} \quad (4.8)$$

Odpad vzniklý prořezem:

$$\begin{aligned} q_{dA} &= (a \cdot c \cdot l_{uA} + b \cdot c \cdot l_{uA}) \cdot \rho \cdot 10^{-6} = \\ &= (378 \cdot 16 \cdot 1,1 + 264 \cdot 16 \cdot 1,1) \cdot 1,15 \cdot 10^{-6} = 0,013 \text{ kg} \cdot \text{ks}^{-1} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Odpad z nevyužití desky:

$$q_{kA} = \frac{l_{d2} \cdot c \cdot l_{kA1}}{n_A} \cdot \rho \cdot 10^{-6} = \frac{620 \cdot 16 \cdot 352,9}{14} \cdot 1,15 \cdot 10^{-6} = 0,287 \text{ kg} \cdot \text{ks}^{-1} \quad (4.10)$$

Norma spotřeby materiálu přířezu Q_m [kg/ks] :

$$Q_m = Q_{pA} + q_{dA} + q_{kA} = 1,836 + 0,013 + 0,287 = 2,136 \text{ kg} \cdot \text{ks}^{-1} \quad (4.11)$$

Koeficient využití materiálu přířezu:

$$k_{mA} = \frac{Q_S}{Q_{mA}} = \frac{0,322}{2,136} = 0,1507 \quad (4.12)$$

4.1.2 Výroba polotovaru v kooperaci

Druhou variantou je výroba polotovaru v kooperaci. Výchozími polotovary pro následné frézování a vrtání jsou plastové desky o rozměrech 378x264x16 mm. Tyto polotovary jsou dodány externí firmou, která je zaměřená na dělení materiálu vodním paprskem. Desky jsou vyřezané na požadovaný rozměr dle výkresové dokumentace. Velkoformátová deska je dodávána ve formátu 2000x1000 mm nebo 2500x1250 mm a jsou z ní vyřezány jednotlivé polotovary pro frézování a vrtání, které proběhne stejným způsobem jako u varianty č.1. Řezání vodním paprskem je prováděno na strojích s přívodem vysokého tlaku vody. Polyamid lze zařadit mezi tvrdší materiál, je tedy nutné použít vodní paprsek s abrazivem. Tato metoda řezání dosahuje přesnosti řezu $\pm 0,2$, takže také splňuje požadavek na všeobecnou toleranci. Drsnosti povrchu lze docílit až na Ra 3,2. Není tedy nutné, jak z hlediska rozměrového, tak z hlediska jakosti povrchu další opracování obvodových stran polotovaru.

Spotřeba materiálu a stupeň využití materiálu:

Volba formátu desky: 2000x1000

Počet vyřezaných polotovarů v řadě:

$$n_{ra} = \frac{d}{a+p} = \frac{2000}{378+1,5} = 5,27 \Rightarrow 5 \quad (4.13)$$

Počet řad:

$$n_r = \frac{\check{s}}{b+p} = \frac{1000}{264+1,5} = 3,76 \Rightarrow 3 \quad (4.14)$$

Počet kusů:

$$n_k = n_{ra} * n_r = 5 * 3 = 15 \text{ ks} \quad (4.15)$$

Počet vyřezaných polotovarů v řadě:

$$n_{ra} = \frac{d}{b+p} = \frac{2000}{264+1,5} = 7,53 \Rightarrow 7 \quad (4.16)$$

Počet řad:

$$n_r = \frac{\check{s}}{a+p} = \frac{1000}{378+1,5} = 2,63 \Rightarrow 2 \quad (4.17)$$

Počet kusů dle vzorce (4.15):

$$n_k = n_{ra} * n_r = 7 * 2 = 14 \text{ ks}$$

2500x1250

Počet vyřezaných polotovarů v řadě dle vzorce (4.13):

$$n_{ra} = \frac{d}{a+p} = \frac{2500}{378+1,5} = 6,58 \Rightarrow 6$$

Počet řad dle vzorce (4.14):

$$n_r = \frac{\check{s}}{b+p} = \frac{1250}{264+1,5} = 4,7 \Rightarrow 4$$

Počet kusů dle vzorce (4.15):

$$n_k = n_{ra} * n_r = 6 * 4 = 24 \text{ ks}$$

Počet vyřezaných polotovarů v řadě dle vzorce (4.16):

$$n_{ra} = \frac{d}{b+p} = \frac{2500}{264+1,5} = 9,41 \Rightarrow 9$$

Počet řad dle vzorce (4.17):

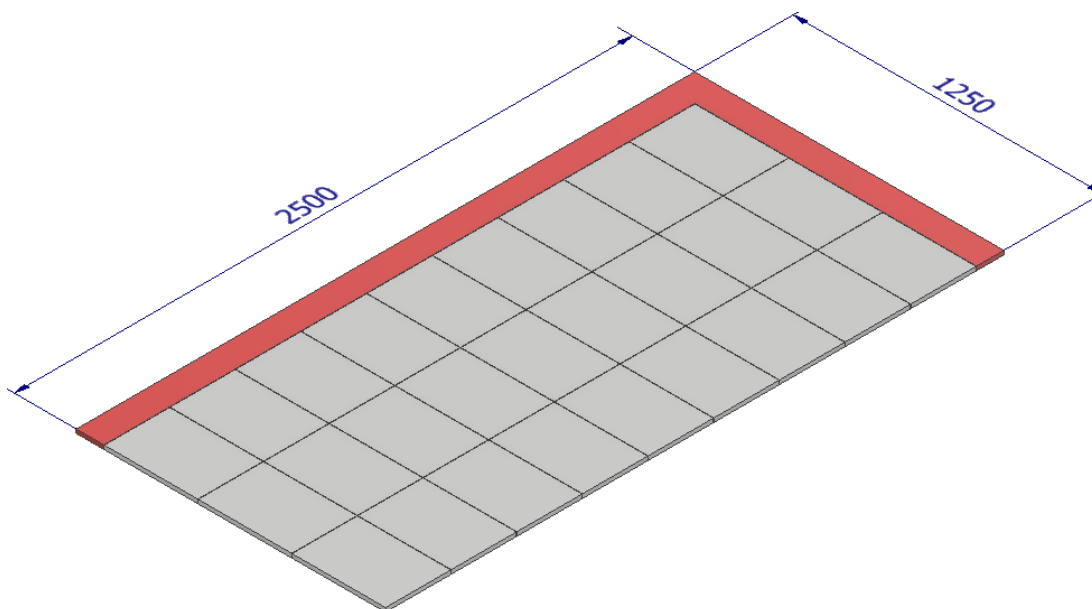
$$n_r = \frac{\check{s}}{a+p} = \frac{1250}{378+1,5} = 3,29 \Rightarrow 3$$

Počet kusů dle vzorce (4.15):

$$n_k = n_{ra} \cdot n_r = 9 \cdot 3 = 27 \text{ [ks]}$$

- d - je délka desky [mm],
- š - je šířka desky [mm],
- a - je délka polotovaru [mm],
- b - je šířka polotovaru [mm],
- c - je výška polotovaru [mm],
- p - je šířka prořezu (činí 1,5 mm),

Je volen formát desky 2500x1250mm, kde z jedné desky vznikne 27ks polotovarů viz obr.4.2



Obr.4.2 Využití materiálu z desky 2500x1250mm

Hmotnost polotovaru Q_{pp} [kg/ks]:

$$Q_{pp} = a \cdot b \cdot c \cdot \rho \cdot 10^{-6} = 378 \cdot 264 \cdot 16 \cdot 1,15 \cdot 10^{-6} = 1,836 \text{ kg/ks} \quad (4.18)$$

Hmotnost prořezu:

$$Q_{pc} = (a \cdot c \cdot p + b \cdot c \cdot p) \cdot \rho \cdot 10^{-6} = (378 \cdot 16 \cdot 1,5 + 264 \cdot 16 \cdot 1,5) \cdot 1,15 \cdot 10^{-6} = 0,0177 \text{ kg.ks}^{-1} \quad (4.19)$$

Hmotnost extrudované desky:

$$Q = \check{s} \cdot d \cdot c \cdot \rho \cdot 10^{-6} = 1250 \cdot 2500 \cdot 16 \cdot 1,15 \cdot 10^{-6} = 57,5 \text{ kg} \quad (4.20)$$

Poměrná hmotnost z nevyužitého materiálu desky:

$$q_{zc} = \frac{Q - (Q_{pp} + q_{pc}) \cdot n_k}{n_k} = \frac{57,5 - (1,836 + 0,0177) \cdot 27}{27} = 0,27 \text{ kg.ks}^{-1} \quad (4.21)$$

Norma spotřeby materiálu Q_m [kg/ks]:

$$Q_m = Q_{pp} + q_{pc} + q_{zc} = 1,836 + 0,0177 + 0,27 = 2,1237 \text{ kg/ks} \quad (4.22)$$

Koeficient využití materiálu k_m :

$$k_{mc} = \frac{Q_s}{Q_{mc}} = \frac{0,322}{2,1237} = 0,1516 \quad (4.23)$$

4.2 Návrh upnutí součásti

Velkou otázkou při výrobě této součásti je její upnutí. Jelikož se jedná o součást z plastu, nemá takové mechanické vlastnosti jako ocel nebo jiné běžně obráběné materiály. V případě, kdyby byl polotovar upnut do strojního svěráku, došlo by k jeho prohnutí nebo pružení, které by způsobilo nekvalitní povrch součásti, nedodržení rozměrových požadavků, vytahování polotovaru ze svěráku atd.. Je tedy nutné vyřešit pevné upnutí pro tuto součást, aby zamezilo těmto problémům.

4.2.1 Upnutí polotovaru pomocí vakuového upínače

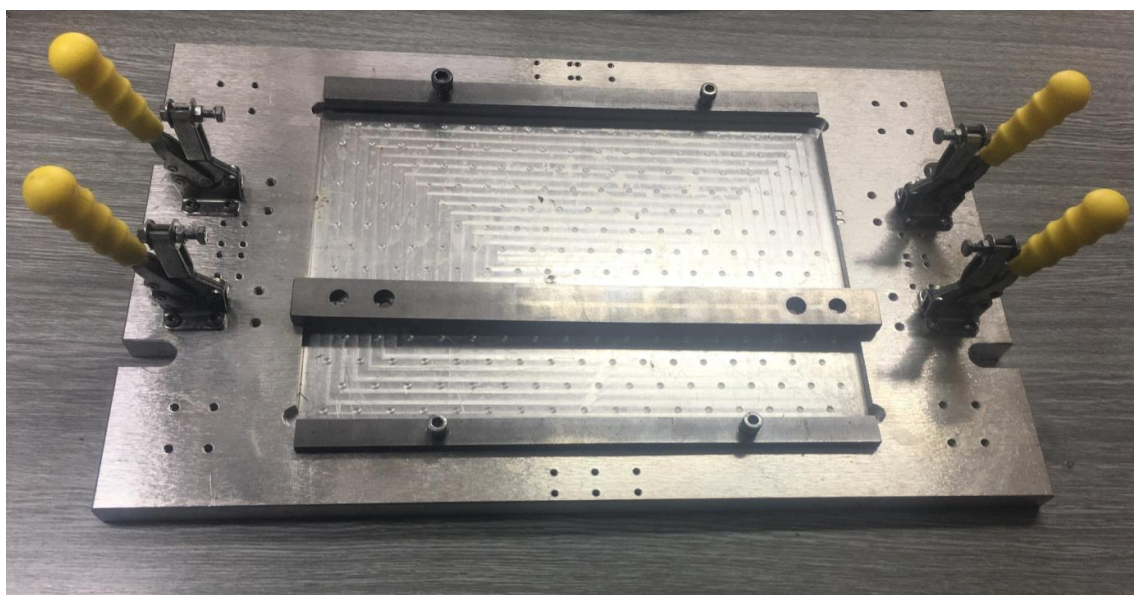
Jednou z variant je upnutí pomocí vakuového upínače obr.4.3. S tímto systémem lze snadno upínat a přesně obrábět jakékoliv obrobky nevhodné k mechanickému, pneumatickému, magnetickému nebo hydraulickému upínání, což je řešený případ. Principem upnutí je vytvoření podtlaku pod upínaným obrobkem. Následně vzniká tlakový rozdíl mezi polotovarem a upínací deskou, tím je obrobek přitlačován na vakuovou desku. Přídržná síla obrobku je přímo závislá na drsnosti povrchu obrobku, tlakovému rozdílu a odsávané ploše, čím větší odsávaná plocha tím lepší je přídržná síla. Vakuová deska má na horní straně drážky s otvory pro dorazy a odsávací kanálky, které tvoří pole čtverců. Podle velikosti upínané součásti, je možné vytvořit upínací plochu z jednoho nebo více členů pole. Plocha upnutí je omezena použitím těsnicí gumy, která je vtlačena do drážek. Velkou výhodou tohoto upnutí je kontinuální proces obrábění, bez žádného přerušení a zásahu obsluhy do procesu obrábění. Další výhodou je, že pro upnutí nejsou potřeba žádné upínky. To znamená, že programátor nemusí řešit různé výšky přejezdů nad upínkami nebo bezpečné vzdálenosti od nich. Riziko kolize nástroje během obrábění je tedy minimální a proces obrábění probíhá plynule. Také lze obrobit celou jednu stranu desky na jedno upnutí, tím je možné zrušit vedlejší časy pro přestavování upínek a upínání součásti, čím je snížen výrobní čas. Nevýhodou je, že nelze použít pro obrábění obou dvou stran součásti. Při frézování kapes dochází k otevření slepých děr, které byly vyvrtány v předchozí operaci a dojde k porušení vakua a tím k uvolnění upnutí. Bohužel firma tímto typem upínače není vybavená a znamenalo by to nemalé výdaje na jeho pořízení. Je tedy vhodné zhodnotit, jestli tento typ upnutí bude ekonomicky výhodnější nebo nikoliv oproti mechanickému upnutí v přípravcích [19].



Obr.4.3 Vakuový upínač [19].

4.2.2 Upnutí polotovaru v přípravku

Další variantou upnutí je pomocí vyrobeného přípravku obr.4.4. Přípravek je sestava složená z duralové desky, do které je zafrézována kapsa, pákových upínek a kovových podélných upínek a přepážky. Polotovary jsou upnuty v přípravku pomocí pákových, podélných upínek a přepážky, která proces obrábění rozděluje na dvě části. V průběhu obrábění je nutné proces pozastavit a přestavit přepážku a teprve potom lze v obrábění pokračovat. Tento systém upnutí zaručuje pevné upnutí, při kterém nedojde k žádným nežádoucím pohybům polotovaru. Při vytváření programu pro CNC obráběcí stroj je třeba dbát velkou pozornost na možné kolize s upínkami a dalšími prvky upnutí. Je tedy nutné se pečlivě zaměřit na vhodné přejezdy nad upínkami a kolem nich, aby do nich nástroj nenarazil a také dráhy nástroje volit tak, aby zbytečně proces obrábění nezpomaloval.



Obr.4.4 Přípravek pro upnutí.

5 ROZPRACOVÁNÍ VYBRANÉ VARIANTY

Byla vybrána varianta výroby polotovaru v kooperaci a výroba součástí probíhala pomocí upnutí polotovaru v přípravku.

5.1 Upínací přípravek

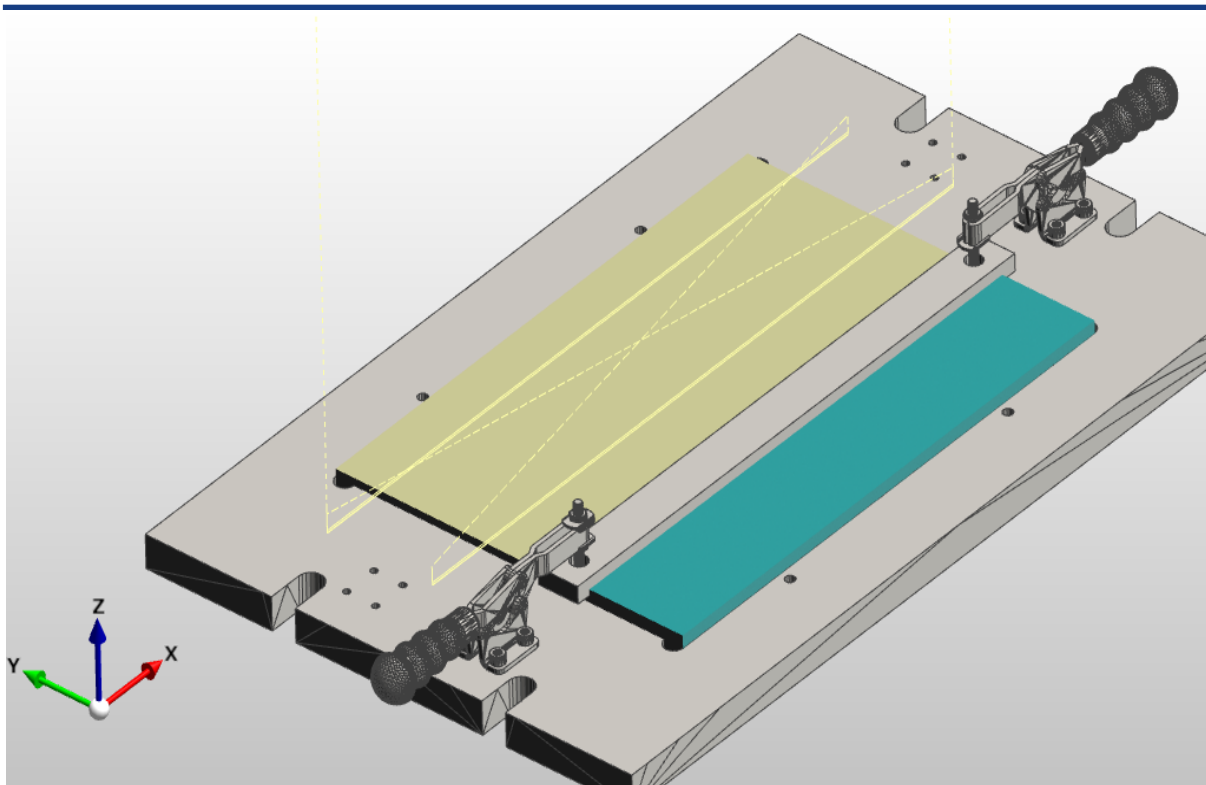
Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, jedná se o sestavu duralové desky, pákových upínek a kovových lišt. Do duralové desky o rozměrech 600x370x20 mm, je zafrézována kapsa do hloubky 8 mm pro usazení polotovaru součástí. Jsou zde vytvořeny drážky po bocích desky pro upnutí pomocí šroubů ke stolu stroje. Dále je deska opatřena dírami se závity M6 a M8 pro ukotvení upínacích segmentů. Polotovar je upnut přepolohováním pákových upínek z vertikální do horizontální polohy, kde tlakem působí na kovovou přepážku a dotažením šroubů M8 s vnitřním šestihranem, který dotáhne lištu k polotovaru. Toto upnutí se týká pro operace frézování čela, vrtání děr, frézování kapsy s drážkami. Pro poslední operaci je přípravek přestavěn a to tak, že jsou odmontovány všechny komponenty, které byly doposud použity. Po přestavění, se na přípravku nachází pouze čtyři šrouby s vnitřním šestihranem a dvě kovové lišty, které desku po přitažení šroubů zajistí proti pohybu.

5.2 Technologie obrábění

V této části práce je uvedena technologie obrábění, která byla řešena v systému Edgecam a obsahuje popis jednotlivých operací včetně použitých nástrojů. Vytvořený program a vygenerované NC kódy jednotlivých operací jsou uvedeny v příloze na přenosném disku.

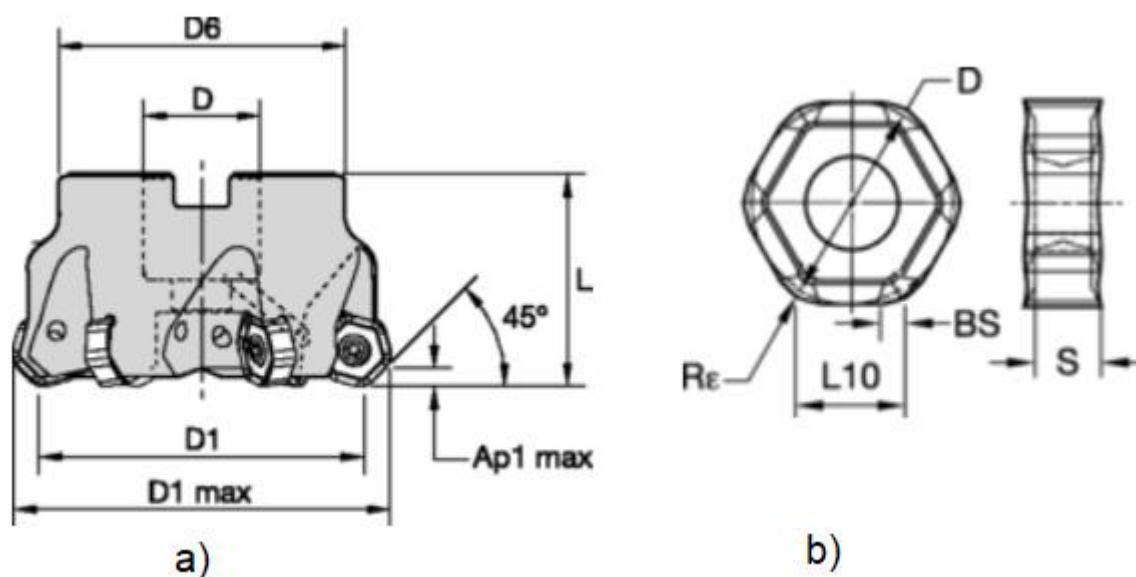
5.2.1 Frézování čelní plochy polotovaru

První operací celého procesu obrábění je frézování čelní plochy obr.5.1. Polotovar je dodáván s nerovnoměrnou výškou od 15 mm do 16 mm. Je tedy nutné jednu z čelních ploch frézovat, aby byla zaručena rovinnost součástí. Polotovar je upnut do přípravku. Pomocí přepážky je dotažen a je frézována první část čela, kde ve dvou. Po dokončení této operace je přepážka přemístěna na druhou již obrobenou část a naváže se na předchozí proces obrábění. Výsledkem je ofrézované čelo polotovaru s výškou 13 mm.



Obr. 5.1 Frézování čela plochy.

Pro frézování čela je použita nástrčná čelní fréza od firmy Widia M1200D080Z10HN07 s 10 zuby a maximálním průměrem 88,7 mm obr.5.1a. Je upevněna pomocí šroubu do nástrčného frézovacího trnu s kuželem ISO40 a osazena výměnnými břitovými destičkami HNGJ-LDJ určených pro frézování nekovových materiálů obr.5.1b. Rozměry VBD a frézy jsou uvedeny v tab.5.1 a v tab.5.2. Řezné podmínky pro tento nástroj jsou uvedeny v tab.5.3 a tab.5.4.



Obr.5.2 a) nástrčná fréza, b) výměnná břitová destička [20].

Tab.5.1 Parametry nástrčné frézy [20].

D_1 [mm]	$D_{1\max}$ [mm]	D [mm]	D_6 [mm]	L [mm]	$A_{p1\max}$ [mm]	z [-]	max RPM [min ⁻¹]
80	88,7	27	60	50	3,5	10	7900

Tab. 5.2 Rozměry VBD [20].

počet hran	D [mm]	L_{10} [mm]	S [mm]	BS [mm]	R_ϵ [mm]
12	13	6,8	4,48	1,6	1,2

Tab. 5.3 Posuvové rychlosti [20].

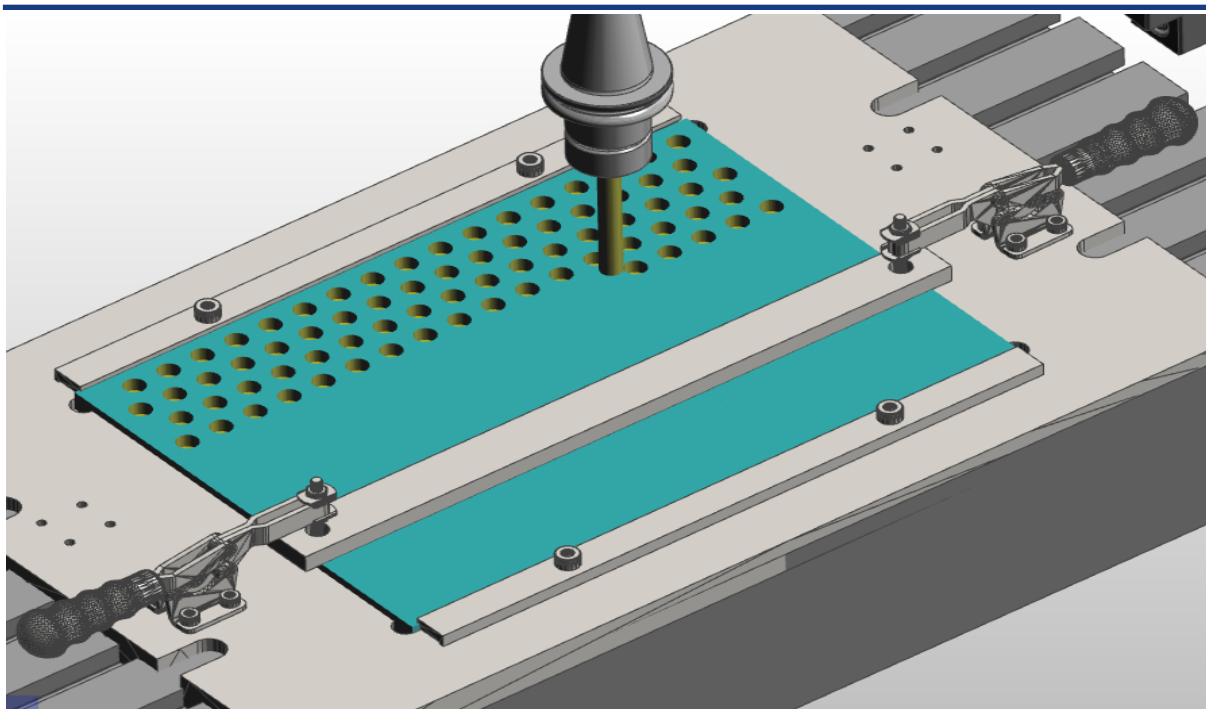
Posuv za zub (f_z) dle radiální šířky záběru a_e [mm]														
5%			10%			20%			30%			40-100%		
0,14	0,26	0,53	0,1	0,19	0,38	0,08	0,14	0,29	0,07	0,12	0,25	0,06	0,11	0,23

Tab 5.4 Řezné rychlosti [20].

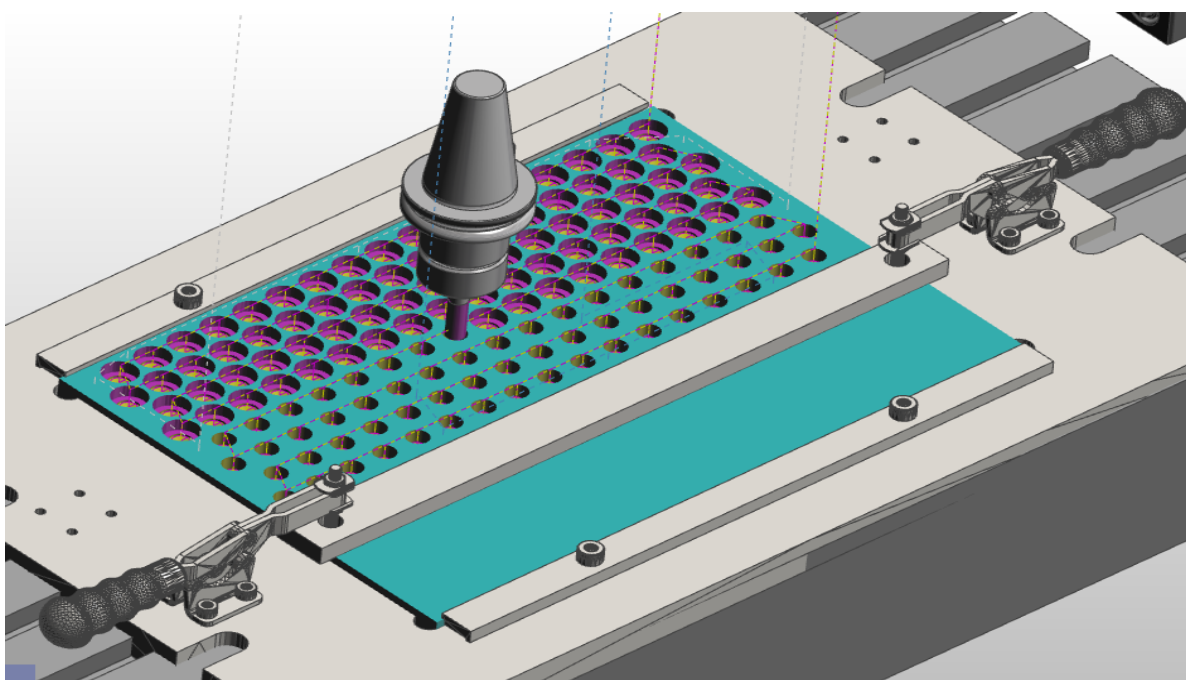
Řezná rychlost v_c [m/min]		
lehké obrábění	běžné obrábění	těžké obrábění
880	560	450

5.2.2 Vrtání a frézování zahloubení

Druhou operací je vrtání děr a frézování jejich zahloubení. Polotovár je v přípravku dotlačen a upnut do levého horního rohu, kde je stanoven nulový bod obrobku. Z tohoto bodu vychází veškeré dráhy nástrojů, které jsou během této operace použity. Nejprve jsou vrtány díry o průměru 12 mm do hloubky 11 mm. Vrtání probíhá do plné hloubky bez žádných přerušování. Je zde zapotřebí důkladné chlazení místa řezu, aby nedocházelo k nalepování materiálu na nástroj, které je zprostředkováno vnitřním chlazením nástroje s přívodem do řezu. Jelikož součást má celkem 238 děr, je snahou minimalizovat čas na přejezdech, proto vrták přijíždí rychloposuvem nad materiál na nájezdovou výšku do vzdálenosti 1 mm od povrchu součásti, kde v tento moment stroj zapne pracovní posuv. Mezi jednotlivými vrtanými dírami se bude nadále pohybovat rychloposuvem v přejezdových výškách. Sled přejezdových pohybů je volen v ose X, jakožto nejkratší možné vzdálenosti přejezdů mezi jednotlivými dírami. Proces vrtání je zobrazen na obr.5.3. Po vyvrtání vznikly díry o průměru 12 mm, do kterých následně s frézou o průměru 10 mm je sjížděno středem otvoru na dno válcového zahloubení a na jednu šířku záběru je toto zahloubení frézováno. Přejezdové pohyby jsou také voleny co nejkratší a jsou podobné s vrtacím cyklem viz. obr.5.4. Následně jsou vrtány díry o průměrech 3,2 mm a 2,5 mm Z důvodu použití menších průměrů nástrojů, je použito přerušované vrtání, aby nedošlo k jejich poškození.

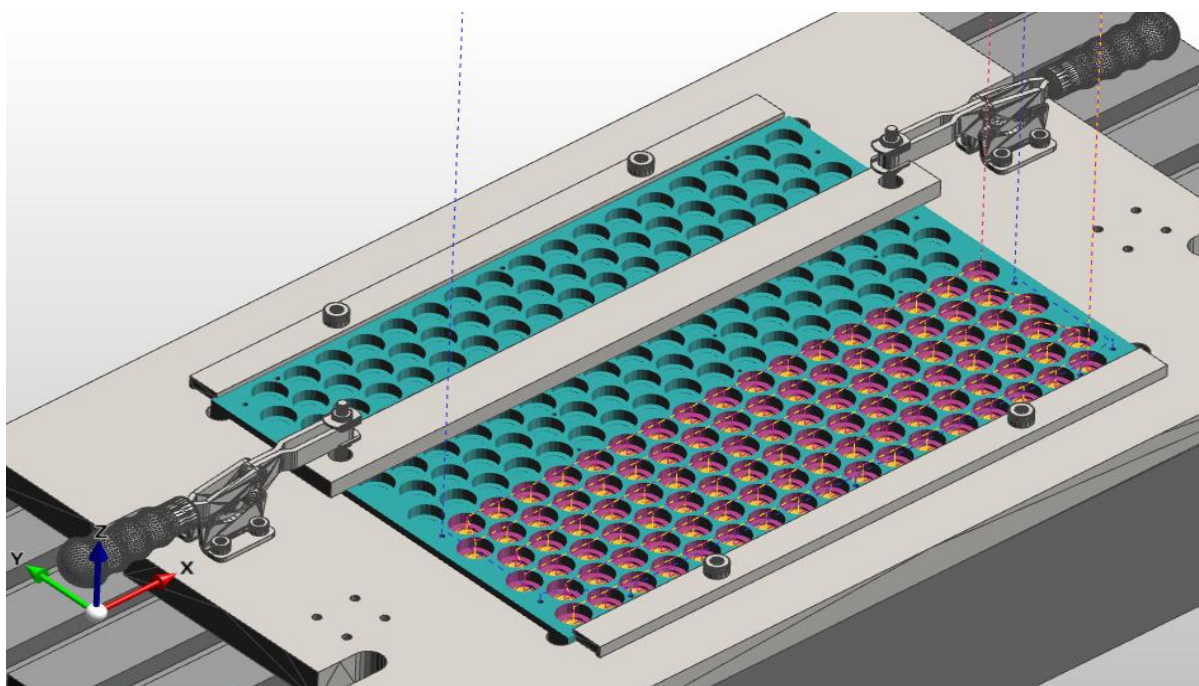


Obr.5.3 Vrtání děr o průměru 12 mm.



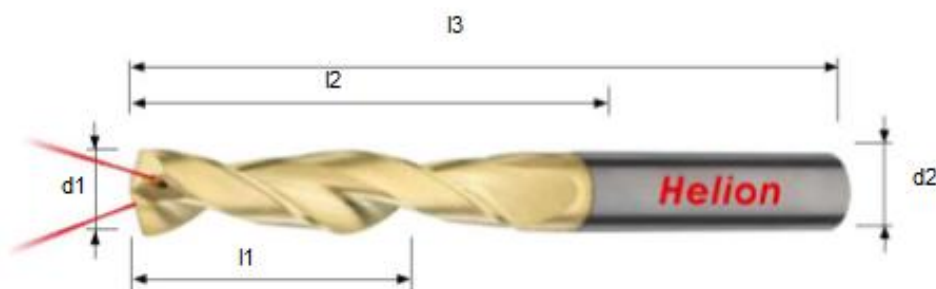
Obr. 5.4 Frézování zhloubení.

Druhá část této operace, je provedena po přestavění kovové přepážky, kdy se jednoduše povolí pákové upínky do vertikální polohy a přepážka se přesune do pozice horních pákových upínek a je upnuta. Tím je deska zajištěna pro obrábění. Druhá část obrábění se týká šesti řad děr o průměru 12 mm se zhloubením a sedmi děr o průměru 3,2 mm. Výsledek této operace je zobrazen na obr.5.5.



Obr. 5.5 Obrobení druhé části po přestavění upínky.

Jelikož je tato součást tvořená převážně dírami, je nutné použít takové nástroje, jimiž bude vrtáno co nejefektivněji. Pro díry o průměru 12 mm je použit monolitní vrták Helion 54.3805 ze slinutého karbidu s vnitřním chlazením obr.5.6. Vrták je povlakován nitridem zirkonu, který má dobré vlastnosti pro obrábění termoplastů jako např. vysoká tvrdost, relativně nízký koeficient tření, dobrá adheze nebo vysoká odolnost vůči opotřebení. Jeho rozměry a řezné podmínky jsou uvedeny v tab.5.5 a tab.5.6. Pro frézování zahloubení je použita tří-břítá fréza WAE3030100 pro obrábění nekovových materiálů obr.5.7. Tato fréza je vyrobená ze slinutého karbidu s leštěnými břity, bez povlaku. Její rozměry a řezné data jsou uvedeny v tab.5.7 a tab.5.8. Pro vrtání děr 3,2 mm a 2,5 mm, jsou použity vrtáky WPC-VA 3.2 a WPC-VA 2.5 obr.5.8 ze slinutého karbidu s vnitřním chlazením, které jsou primárně používány pro obrábění hliníkových slitin. Vrtáky jsou opatřeny povlakem TiAlN. Děř s tímto průměrem není mnoho, proto lze použít tyto méně produktivní nástroje. Jejich rozměry a řezné parametry jsou uvedeny v tab.5.9 a 5.10.



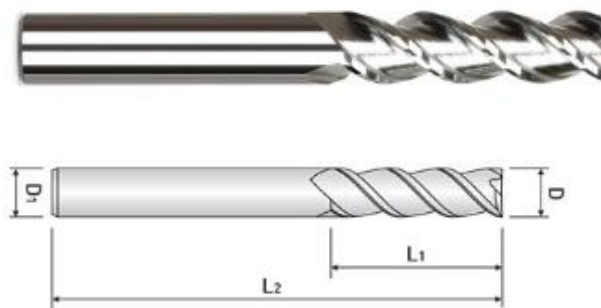
Obr. 5.6 Vrták Helion 54.3805 [21].

Tab.5.5 Rozměry vrtáku Helion 54.3805 [21].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]
12	12	56	71	118

Tab.5.6 Řezné parametry vrtáku Helion 54.3805 [21].

v_c [m/min]	f_z [mm]	otáčky [min ⁻¹]	v_f [mm/min]
140	0,27	3,714	1002



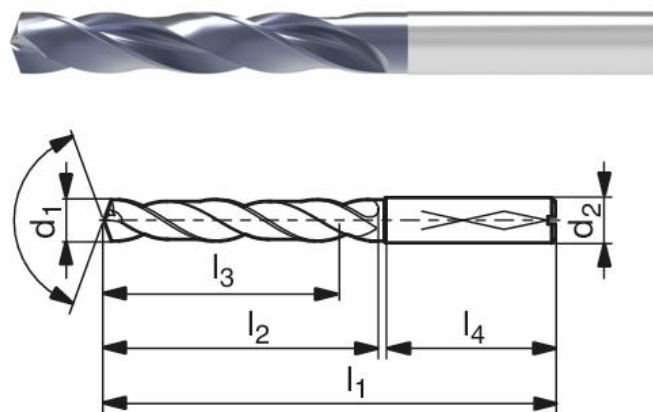
Obr.5.7 Fréza WAE3030100 [22].

Tab.5.7 Rozměry frézy WAE3030100 [22].

D [mm]	L_1 [mm]	L_2 [mm]	D_2 [mm]
10	33	90	10

Tab. 5.8 Řezné parametry frézy WAE3030100 [22].

		$a_p = 2,5D; a_e = 0,15xD$			$a_p = 1,5D; a_e = D$		
v_c [m/min]	z [-]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	f [mm/min]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	f [mm/min]
175	3	5600	0,0625	1050	5600	0,05	840



Obr.5.8 Vrták WPC-VA [23].

Tab.5.9 Rozměry vrtáků WPC-VA [23].

	d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]	l_4 [mm]
WPC-VA 2.5	2,5	4	55	20	16,3	30,5
WPC-VA 3.2	3,2	6	66	28	23	36

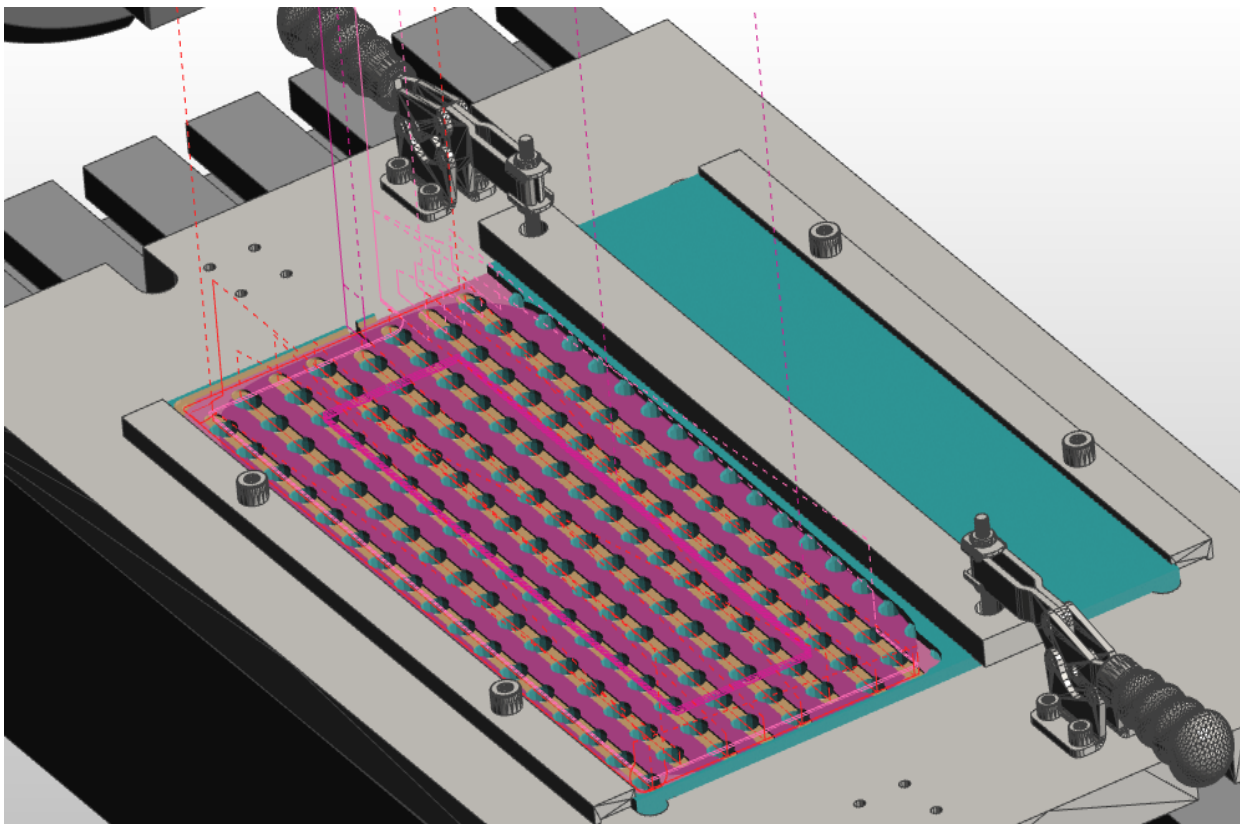
Tab.5.10 Řezné parametry vrtáků WPC-VA [23].

	v_c [m/min]	z [-]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	f [mm/min]
WPC-VA 2.5	80	2	10190	0,02	407
WPC-VA 3.2	80	2	7960	0,025	398

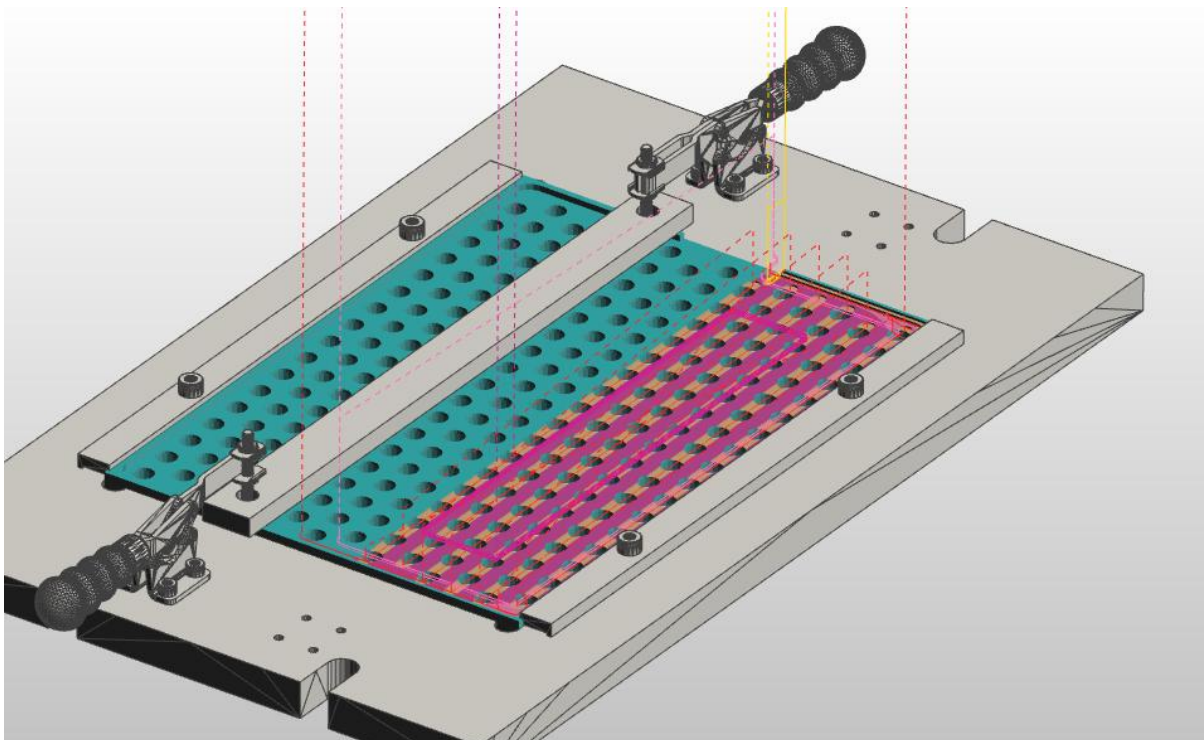
5.2.3 Frézování kapsy a drážek

Na druhé straně desky je obráběna odstupňovaná otevřená kapsa a drážky. První operací této strany je hrubování kapsy. Upnutí je stejné jako u předchozího obrábění první strany desky. Opět je tedy nutné obrábění rozdělit na dvě části. Frézování je provedeno čelní nástrčnou frézou, stejnou jako tomu bylo u frézování čela. Fréza se postupným zanořováním po šroubovici pohybuje v sousledném směru podél hran kapsy ohraničených tak, aby nenabourala do upínání. Frézování je prováděno s přídávkem na boční stěny, dno kapsy je frézováno na hotovo. Následnou operací je zbytkové frézování, při kterém dochází k odebrání materiálu z míst, kde se nástrčná fréza nedostala. Pro produktivnější odebrání materiálu je použita fréza WAE3030200 o průměru 20 mm, která kopíruje spodní hranu kapsy. Jelikož v rozích je navržen rádius R6, tak nebyl tento rádius touto frézou vytvořen. Pro jeho dokončení je použita čelní válcová tříbřitá fréza Helion 84.3309 o průměru 8 mm, se kterou je následně frézováno osazení na obvodu dílce a drážky horizontálně spojující díry. Pro frézování drážek o šířce 8 mm je využito břitu přes střed. To umožňuje axiální zařezání frézy do materiálu na začátku drážky.

Výsledkem je jejich plynulé sousledné frézování. Poslední operací v této fázi obrábění je frézování otevřené drážky o šířce 5 mm na pravé straně součásti. Drážka je frézována plnou šířkou nástroje, kterým je monolitní tříbřitá fréza WAE303050. Nájezdy monolitních fréz pro obrábění stěn součásti jsou voleny mimo součást nebo jako najíždění do záběru po rádiusu v místech již odebraného materiálu a to z důvodu, aby nedošlo k axiálnímu najetí rychloposuvem do materiálu. Po každém cyklu obrábění je nutné aktualizovat polotovar, aby bylo možné navázat na předchozí operaci bez zbytečných frézování již obrobených částí nebo již skrze zmíněné najíždění nástroje do záběru. Na obr.5.10. je zobrazen pohled ze zadní strany na výsledek po obrobení první části desky, včetně drah nástrojů. Na obr.5.11 je znázorněno obrobení druhé části desky.



Obr.5.10. Pohled ze zadní strany na obrobení první části kapsy.



Obr.5.11 Obrobení druhé části kapsy

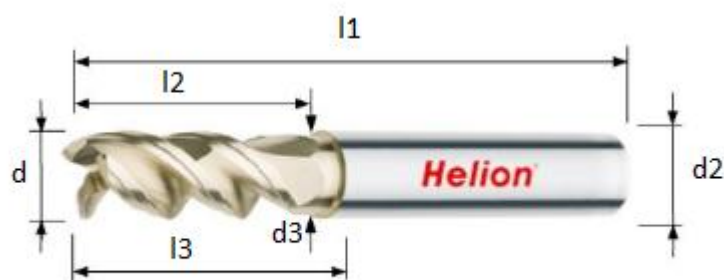
Frézy WAE3030200 a WAE303050 jsou nástroje stejného typu jako WAE3030100 (obr.5.7), liší se pouze v jejich rozměrech, které jsou uvedeny v tab.5.11 a tab.5.12. Jsou používány jak pro dokončovací operace bokem frézy, tak i pro hrubování v celé šířce svého průměru. Jsou primárně využívány pro obrábění hliníkových slitin a jako další využití je i obrábění plastů. Vhodnějším nástrojem pro obrábění plastů je třízubá fréza Helion 84.3309 obr.5.12, která má stejnou povrchovou úpravu jako použitý vrták pro vrtání děr 12 mm od stejné společnosti. Výhodou tohoto nástroje je, že se lze v materiálu pohybovat ve směrech radiálních, axiálních i jejich kombinací. V tab.5.13 a tab.5.14 jsou uvedeny její rozměry a řezné parametry.

Tab.5.11 Rozměry fréz WAE3030 [22].

Typ nástroje	D [mm]	L ₁ [mm]	L ₂ [mm]	D ₂ [mm]
WAE3030200	20	50	100	20
WAE303050	5	31	75	6

Tab.5.12 Řezné parametry fréz WAE3030 [22].

Typ nástroje			$a_p = 2,5D; a_e = 0,15xD$			$a_p = 1,5D; a_e = D$		
	v_c [m/min]	z [-]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	v_f [mm/min]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	v_f [mm/min]
WAE3030200	175	3	2800	0,11	924	2800	0,095	798
WAE303050	110	3	7000	0,031	651	7000	0,024	504



Obr.5.12 Fréza Helion 84.3309 [21].

Tab.5.13 Rozměry frézy Helion 84.3309 [21].

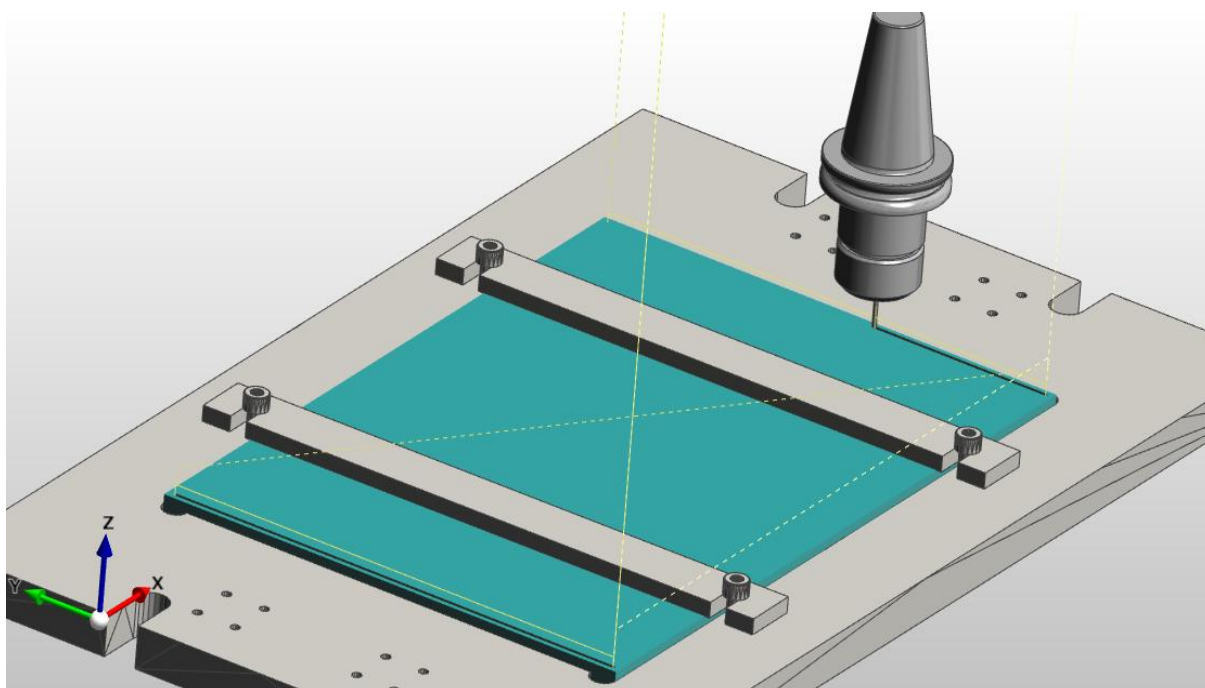
d [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]
8	8	7,8	100	21	62

Tab.5.14 Řezné parametry frézy Helion 54.3309 [21].

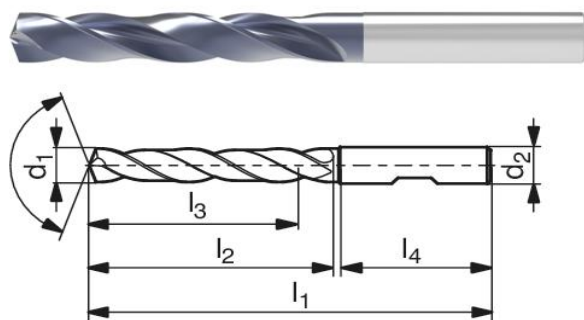
hrubování		$a_p = D; a_e = D$		
v_c [m/min]	z [-]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	f [mm/min]
212	3	8440	0,054	1362
dokončování		$a_p = D; a_e = 0,5xD$		
v_c [m/min]	z [-]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	f [mm/min]
300	3	11937	0,064	2291

5.2.4. Frézování drážek 2 mm

Poslední operací výroby je frézování drážek na straně desky s dírami se zahloubením. Jedná se o dvě drážky o šířce 2 mm s hloubkou 7,5 mm. Před frézováním je nutné upravit upínací přípravek. Jsou odinstalovány lišty a horizontální přepážka. Namísto toho jsou použity dvě vertikální přepážky. Tyto přepážky mají vyfrézované dvě drážky o šířce 9 mm s roztečí, která má rozměr vzdálenosti mezi šrouby, kterými jsou přepážky utahovány. Následně je tímto způsobem deska upnuta. Aby fréza o průměru 2 mm nemusela axiálně najíždět do záběru, je nejprve předvrtán otvor vrtákem WPC-UNI 2.0 o průměru 2 mm obr 5.14. Je to výhodnější jak z hlediska času, tak z hlediska snížení rizika porušení nástroje vzhledem k jeho rozměrům. Po vyvrtání pilotních děr pro frézu WAE303020 je pokračováno v obrábění drážky jejím frézováním. Nástroj najíždí v díře na najížděcí výšku a frézuje drážku v celé délce. Na konci drážky nástroj vyjede do výšky přejezdů a přesune se do místa najetí dalšího úběru. Takto je cyklus opakován, dokud není drážka obrobena do požadované hloubky. Rozměry a řezné podmínky pro vrták jsou uvedeny v tab.5.15 a tab.5.16. Pro frézu WAE303020-08 jsou tyto informace uvedeny v tab.5.17 a tab.5.18.



Obr.5.13 Frézování drážek 2 mm



Obr.5.14 Vrták WPC-UNI 2.0 [23].

Tab.5.15 Rozměry vrtáku WPC-UNI 2.0 [23].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]	l_4 [mm]
2	4	50	16	13	29

Tab.5.16 Řezné parametry vrtáku WPC-UNI 2.0 [23].

v_c [m/min]	z [-]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	f [mm/min]
60	2	9500	0,0185	350

Tab.5.17 Rozměry frézy WAE303020-08 [22].

D [mm]	L_1 [mm]	L_2 [mm]	D_2 [mm]
2	8	60	6

Tab.5.18 Řezné parametry frézy WAE303020-08 [22].

		$a_p = 2,5D; a_e = 0,15xD$			$a_p = 1,5D; a_e = D$		
v_c [m/min]	z [-]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	f [mm/min]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	f [mm/min]
44	3	7000	0,017	355	7000	0,012	250

5.3 Výrobní postup

VUT FSI ÚST BRNO			VÝROBNÍ POSTUP					Název součástky: Deska 1		Číslo listu: 1/2		
Dne: 17.4.2019			Vyhotovil: Roman Uličný		Kontroloval:		Polotovary: 378x264x16 mm		Číslo výkresu součásti: CZL_02_03			
Pořad. číslo:	Název, označení stroje, zařízení,	Dĺřina:	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přřpravy, měřřidla, pomůcky:	Materiál nástroje:	Výrobnř podmínky:						
Orient. čřslo:	Třřřřící čřslo:					v _c [m/mi n]	n	a _e	l			
										f	a _p	i
10/10	OTK 09863	Kontrola	Vstupnř kontrola rozměrů polotovaru a jejich řetnosti	Posuvnř měřřřtko 400 mm								
20/20	Frřzka FV25 CNC / 35213	Obrobna	Upnout polotovary do přřpravku 1	upřnacř přřpravek 1								
			Frřzovat 1. řast řela plochy na vřšku 13 mm	Nástrřnř řelnř frřza: M1200D080Z10HN07 VBD: HNGJ-LDJ	SK (-)	980	2010 1206	60 1,5	478 6			
			Přřstavřt přřpřřžku na upřnacř a upnout polotovary	upřnacř přřpravek 1								
			Frřzovat 2. řast řela plochy na vřšku 13 mm	Nástrřnř frřza: M1200D080Z10HN07 VBD: HNGJ-LDJ	SK (-)	980	2010 1206	60 1,5	478 6			
30/30	OTK 09863	Kontrola	Kontrola vřšky polotovaru	Posuvnř měřřřtko 150 mm								
40/40	Akira Seiki SV815 / 45214	Obrobna	Upnout polotovary do přřpravku	upřnacř přřpravek								
			Vřtat dřřř ø12 mm (prvnř řast), (OP1_1_STRANA_DIRY_ZAHL)	Vřtřk Helion 54.3805	SK (ZrN)	140	3714 1002	12 11	12 136			
			Frřzovat zahloubenř ø18,6 mm do hloubky 5,2 mm od spodnř hrany (prvnř řast) (OP1_1_STRANA_DIRY_ZAHL)	Frřza WAE3030100	SK	175	5600 1050	3,3 7,8	31,3 136			
			Vřtat dřřř ø3,2 mm (prvnř řast) (OP1_1_STRANA_DIRY_ZAHL)	Vřtřk WPC-VA 3.2	SK (TiAlN)	80	7960 398	3,2 4	13 7			
			Vřtat dřřř ø2,5 mm (OP1_1_STRANA_DIRY_ZAHL)	Vřtřk WPC-VA 2.5	SK (TiAlN)	80	10190 407	2,5 3	13 6			
			Přřstavřt přřpřřžku na upřnacř a upnout polotovary	upřnacř přřpravek 1								
			Vřtat dřřř ø12 mm (druhř řast) (OP2_1_STRANA_DIRY_ZAHL)	Vřtřk Helion 54.3805	SK (ZrN)	140	3714 1002	12 11	12 102			
			Frřzovat zahloubenř ø18,6 mm do hloubky 5,2 mm od spodnř hrany (druhř řast) (OP2_1_STRANA_DIRY_ZAHL)	Frřza WAE3030100	SK	175	5600 1050	3,3 7,8	31,3 102			
			Vřtat dřřř ø3,2 mm (druhř řast) (OP2_1_STRANA_DIRY_ZAHL)	Vřtřk WPC-VA 3.2	SK (TiAlN)	80	7960 398	3,2 4	13 7			
			Otořit polotovary vřtanou stranou na dno přřpravku a upnout	upřnacř přřpravek 1								
50/50			Frřzovat kapsu do hloubky 3,5 mm s přřřavkem na stěnu 0,3 mm - prvnř řast (OP3_2_STRANA_KAPSA)	Nástrřnř frřza: M1200D080Z10HN07 VBD: HNGJ-LDJ	SK (-)	980	2010 1206	88, 7 1	693, 4 4			

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÍ POSTUP					Název součástky: Deska 1		Číslo listu: 2/2			
Dne: 17.4.2019		Vyhotovil: Roman Uličný		Kontroloval:	Polotovar: 378x264x16 mm	Číslo výkresu součásti: CZL_02_03						
Pořad. číslo:	Název, označení stroje, zařízení.	Dĺřna	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přřpravky, měřřdla, pomůcky:	Materřál nástroje:	Výrobnř podmínky:						
						v _c [m /min]	n	a _e	L			
Orient. čřslo:	Třřdící čřslo:					f	a _p	l				
50/50	Akira seiki SV815 / 45214	Obrobná	Frézovat zbytky po přřdchozř operaci (OP3_2_STRANA_KAPSA)	Fréza WAE3030200	SK (-)	175	2800 798	20 3,5	580 2			
			Frézovat otevřřní kapsy (OP3_2_STRANA_KAPSA)	Fréza WAE3030200	SK (-)	175	2800 798	15 3,5	38 5			
			Frézovat osazenř do hloubky 1,5 mm -první čřst (OP3_2_STRANA_KAPSA)	Fréza Helion 84.3309	SK (ZrN)	212	8440 1362	2 1,5	602 1			
			Frézovat zbytky v rřdiusu R6 (OP3_2_STRANA_KAPSA)					2 2	27 2			
			Frézovat uzavřřné drřřžky 8mm v dřlce 358 mm v hloubce 4,5 mm od čřla desky (OP3_2_STRANA_KAPSA)					8 1	358 8			
			Frézovat otevřřnou drřřžku na boku desky řřřřky 5 mm (OP3_2_STRANA_KAPSA)	Fréza WAE303050	SK (-)	175	7000 504	5 2	15,5 2			
			Přřstavřt přřpřřřžku na upřřnači a upnout polotovar	upřřnači přřřřpravek								
			Frézovat kapsu do hloubky 3,5 mm s přřřřřřkem na stěnu 0,3 mm - první čřst (OP4_2_STRANA_KAPSA)	Nástrčřná čřlnř fréza: M1200D080Z10HN07 VBD: HNGJ-LDJ	SK (-)	980	2010 1206	88,7 1	657 4			
			Frézovat zbytky po přřdchozř operaci (OP4_2_STRANA_KAPSA)	Fréza WAE3030200	SK (-)	175	2800 798	20 3,5	575 2			
			Frézovat osazenř do hloubky 1,5 mm -první čřst (OP4_2_STRANA_KAPSA)	Fréza Helion 84.3309	SK (ZrN)	212	8440 1362	2 1,5	625 1			
			Frézovat zbytky v rřdiusu R6 (OP4_2_STRANA_KAPSA)					2 2	27 2			
			Frézovat uzavřřné drřřžky 8mm L= 358 mm v hloubce 4,5 mm od čřla desky (OP4_2_STRANA_KAPSA)					8 1	358 6			
			Frézovat otevřřnou drřřžku na boku desky řřřřky 5 mm (OP4_2_STRANA_KAPSA)	Fréza WAE303050	SK (-)	175	7000 504	5 2	15,5 2			
60/60	Optimill F105 / 45213	Obrobná	Přřstavřt přřřřpravek a upnout polotovar vřřtanou stranou nahoru	upřřnači přřřřpravek, řřř								

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

6.1 Vícestrojová obsluha

V operaci 50/50 lze z důvodu větší časové náročnosti operace využít vícestrojovou obsluhu, která je řešena v této podkapitole

6.1.1 Časy pro operaci 50/50

Dle vzorce (1.9) jsou vypočítány jednotkové strojní časy frézování, pro jednotlivé nástroje v operaci 50/50. Dráhy frézování jsou odečteny ze softwaru Edgecam, a posuvové rychlosti jsou vypočítány dle vzorce 1.3, do kterého bylo dosazováno z řezných podmínek jednotlivých nástrojů.

M1200D080Z10HN07, VBD: HNGJ-LDJ

$$t_{AS1} = \frac{L_1}{v_{f1}} \cdot i = \frac{693,4}{1206} \cdot 5 = 2,9 \text{ min}$$

WAE3030200

$$t_{AS2} = \frac{L_2}{v_{f2}} \cdot i = \frac{580}{798} \cdot 2 = 1,45 \text{ min}$$

$$t_{AS3} = \frac{L_3}{v_{f3}} \cdot i = \frac{38}{798} \cdot 5 = 0,24 \text{ min}$$

WAE303080

$$t_{AS4} = \frac{L_4}{v_{f4}} \cdot i = \frac{602}{1362} \cdot 1 = 0,44 \text{ min}$$

$$t_{AS5} = \frac{L_5}{v_{f5}} \cdot i = \frac{27}{1362} \cdot 2 = 0,04 \text{ min}$$

$$t_{AS6} = \frac{L_6}{v_{f6}} \cdot i = \frac{358}{1362} \cdot 8 = 2,1 \text{ min}$$

WAE303050

$$t_{AS7} = \frac{L_7}{v_{f7}} \cdot i = \frac{31}{504} \cdot 2 = 0,06 \text{ min}$$

M1200D080Z10HN07, VBD: HNGJ-LDJ

$$t_{AS8} = \frac{L_8}{v_{f8}} \cdot i = \frac{657}{1206} \cdot 5 = 2,73 \text{ min}$$

WAE3030200

$$t_{AS9} = \frac{L_9}{v_{f9}} \cdot i = \frac{575}{798} \cdot 2 = 1,45 \text{ min}$$

WAE303080

$$t_{AS10} = \frac{L_{10}}{v_{f10}} \cdot i = \frac{625}{1362} \cdot 1 = 0,46 \text{ min}$$

$$t_{AS11} = \frac{L_{11}}{v_{f11}} \cdot i = \frac{27}{1362} \cdot 2 = 0,04 \text{ min}$$

$$t_{AS12} = \frac{L_{12}}{v_{f12}} \cdot i = \frac{358}{1362} \cdot 6 = 1,58 \text{ min}$$

WAE303050

$$t_{AS7} = \frac{L_7}{v_{f7}} \cdot i = \frac{31}{504} \cdot 2 = 0,06 \text{ min}$$

V tabulkách tab.6.1, tab.6.2 a tab.6.3 jsou uvedeny časy jednotkových, dávkových a směnových časů pro obsluhu jednoho stroje, které jsou následně použity jako výchozí podmínky pro vícestrojovou obsluhu.

Tab.6.1. Čas jednotkové práce pro obsluhu

	Čas jednotkové práce t_A	Čas [min]
t_{A11}	upínání a odepínání obrobku, měření, obsluha stroje	3
t_{A12}	kontrola předchozího kusu, pozorování obráběcího cyklu	3
t_{A13}	x	0
t_{ax}	výměna břitových destiček, kontrola nástroje	0,55
t_{A211}	x	0
t_{A221}	x	0
t_{A31}	x	0
t_{A32}	čekání na ukončení pracovního cyklu stroje	10,54
celkem t_A		17,09
$t_{AC} = t_A \cdot k_c = 17,09 \cdot 1,12 = 19,14 \text{ min}$		

Tab.6.2 Čas dávkové práce pro obsluhu

	Čas dávkové práce t_B	Čas [min]
t_{B1}	prostudování výkresu a pracovního postupu, připravení pomůcek, nářadí, přípravku, kontrola součástí, ukončení dávky	88
t_{B2}	x	0
t_{B3}	x	0
celkem t_B		88
$t_{BC} = t_B \cdot k_c = 88 \cdot 1,12 = 98,56 \text{ min}$		

Tab.6.3 Čas směnové práce pro obsluhu

	Čas směnové práce t_c	Čas [min]
t_{c11}	příprava a úklid stroje	10
t_{c12}	obsluha stroje, kontrola obráběcího cyklu	6,7
t_{c201}	zákonem stanovená přestávka	30
t_{c202}	osobní potřeby	5
t_{c3}	x	0
celkem t_c		51,7
$kc = \frac{T}{T - t_c} = \frac{480}{480 - 51,7} = 1,12$		

Časy stroje jednotkový čas klidu stroje:

Jednotkový čas chodu stroje

výrobní dávka

mzdový tarif na jednu hodinu práce

náklady na jednu hodinu práce stroje

režie

čas směny

 $t_{mA5} = 3 \text{ min}$ $t_{mA4} = 13,54 \text{ min}$ $d_v = 230 \text{ kusů}$ $M_{tAC} = 150 \text{ Kč}$ $N_{hs} = 675 \text{ Kč}$ $R = 250\%$ $T = 480 \text{ min}$

6.1.2 Návrh vícestrojové obsluhy

Identifikace času obsluhy jednoho stroje

a) Čas cyklu operace při obsluze jednoho stroje:

$$t_{co} = t_{A11} + t_{A12} + t_{A13} + t_{A32} = 3 + 3 + 0 + 10,54 = 16,54 \text{ min} \quad (6.1)$$

b) Čas zaměstnanosti dělníka u jednoho stroje:

$$t_z = t_{A11} + t_{A12} + t_{A13} = 3 + 3 + 0 = 6 \text{ min} \quad (6.2)$$

c) Součinitel zaměstnanosti dělníka u jednoho stroje:

$$k_z = \frac{t_z}{t_{co}} = \frac{6}{16,54} = 0,363 \quad (6.3)$$

Teoretický počet obsluhovaných strojů m_t :

$$m_t = \frac{t_{co}}{t_z} = \frac{16,54}{6} = 2,75 \rightarrow m_t = 2 \text{ nebo } 3 \text{ stroje} \quad (6.4)$$

a) Čas cyklu stroje:

$$t_{cs} = t_{mA5} + t_{mA4} + t_{mA6} = 3 + 13,54 + 0 = 16,54 \text{ min} \quad (6.5)$$

b) Čas využití stroje:

$$t_{vs} = t_{mA5} + t_{mA4} = 3 + 13,04 = 16,54 \text{ min} \quad (6.6)$$

c) Součinitel využití stroje:

$$k_{vs} = \frac{t_{vs}}{t_{ma}} = \frac{16,54}{16,54} = 1 \quad (6.7)$$

Návrh vícestrojové obsluhy pro $m < m_t$ ($2 < 2,75$)

$m = 2$

a) Součinitel zaměstnanosti pracovníka při obsluze m strojů:

$$k_{zm2} = m \cdot k_z = 2 \cdot 0,363 = 0,725 < 1 \quad (6.8)$$

=> neuvažuje se čas interference stroje

$$t_{a32} = t_{cs} - m_2 \cdot t_z = 16,54 - 2 \cdot 6 = 4,54 \text{ min} \quad (6.9)$$

b) Čas cyklu operace při obsluze m strojů:

$$t_{com} = t_{co2} = m_2 \cdot t_z = 2 \cdot 6 = 12 \text{ min} \quad (6.10)$$

Návrh vícestrojové obsluhy pro $m > m_t$ ($3 > 2,75$)

$m = 3$

a) Součinitel zaměstnanosti pracovníka při obsluze m strojů:

$$k_{zm3} = m \cdot k_z = 3 \cdot 0,363 = 1,089 > 1 \quad (6.11)$$

=> uvažuje se čas interference stroje $\rightarrow K_{zm} = 1$

$$t_{mA6} = m_3 \cdot t_z - t_{cs} = 3 \cdot 6 - 16,54 = 1,46 \text{ min} \quad (6.12)$$

b) Čas cyklu operace při obsluze m strojů:

$$t_{com} = t_{co2} = m_3 \cdot t_z = 3 \cdot 6 = 18 \text{ min} \quad (6.13)$$

1) Součinitel vícestrojové obsluhy K_{vo} :

$$K_{vo2} = \frac{d_v \cdot t_{ac} + t_{bc}}{d_v \cdot \left(\frac{1}{m}\right) \cdot t_{ac} + m \cdot t_{bc}} = \frac{230 \cdot 19,14 + 98,56}{230 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot 19,14 + 2 \cdot 98,56} = 1,87 \quad (6.14)$$

$$K_{vo3} = \frac{d_v \cdot t_{ac} + t_{bc}}{d_v \cdot \left(\frac{1}{m}\right) \cdot t_{ac} + m \cdot t_{bc}} = \frac{230 \cdot 19,14 + 98,56}{230 \cdot \left(\frac{1}{3}\right) \cdot 19,14 + 3 \cdot 98,56} = 2,55 \quad (6.15)$$

2) Počet kusů za jednotku času n_k :

$$n_{k2} = \frac{60}{t_{co}} \cdot K_{vs} \cdot m_2 = \frac{60}{16,04} \cdot 1 \cdot 2 = 7,48 \text{ ks} \quad (6.16)$$

$$n_{k3} = \frac{60}{t_{co}} \cdot K_{vs} \cdot m_3 = \frac{60}{16,04} \cdot 1 \cdot 3 = 11,22 \text{ ks} \quad (6.17)$$

3) Náklady na obrobění jednoho kusu N :

a) Náklady na obrobění jednoho kusu při využití 2 strojové obsluhy:

$$N_{mAC2} = \frac{t_{cs}}{k_{vs}} \cdot \left[\frac{M_{tAC}}{60} \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \cdot \frac{1}{m_2} \right] = \frac{16,54}{1} \cdot \left[\frac{150}{60} \cdot \left(1 + \frac{250}{100}\right) \cdot \frac{1}{2} \right] = 72,4 \text{ Kč} \quad (6.18)$$

$$N_{psAC2} = \frac{t_{cs}}{k_{vs}} \cdot \frac{N_{hs}}{60} = \frac{16,54}{1} \cdot \frac{675}{60} = 186,075 \text{ Kč} \quad (6.19)$$

$$N_1 = N_{mAC2} + N_{psAC2} = 258,475 \text{ Kč} \quad (6.20)$$

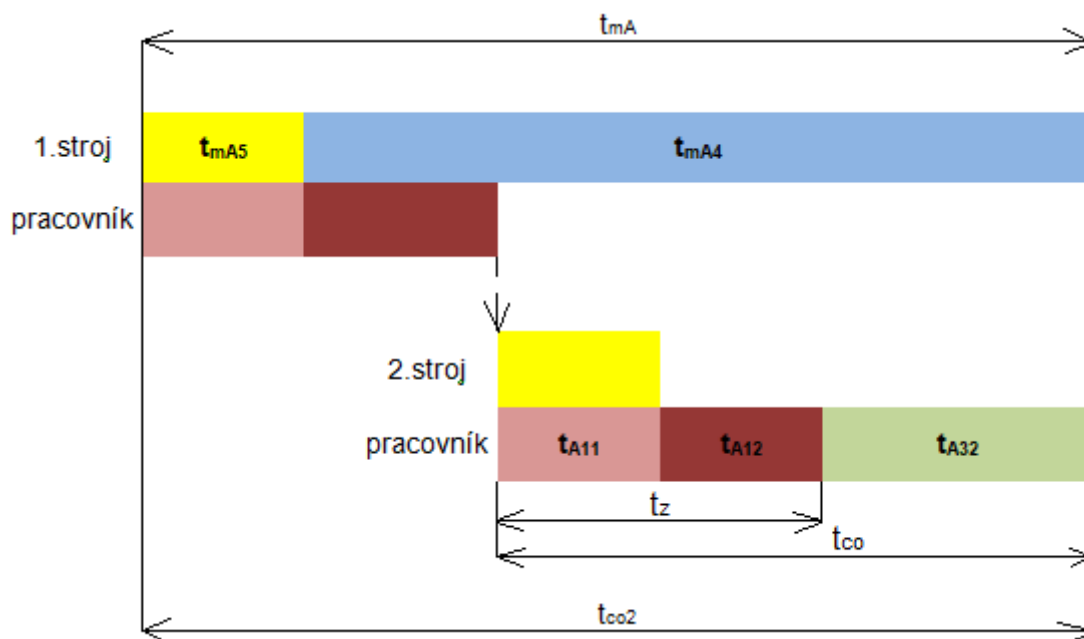
b) Náklady na obrobění jednoho kusu při využití 3 strojové obsluhy:

$$N_{mAC3} = \frac{t_{cs}}{k_{vs}} \cdot \left[\frac{M_{tAC}}{60} \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \cdot \frac{1}{m_3} \right] = \frac{18}{1} \cdot \left[\frac{150}{60} \cdot \left(1 + \frac{250}{100}\right) \cdot \frac{1}{3} \right] = 52,5 \text{ Kč} \quad (6.21)$$

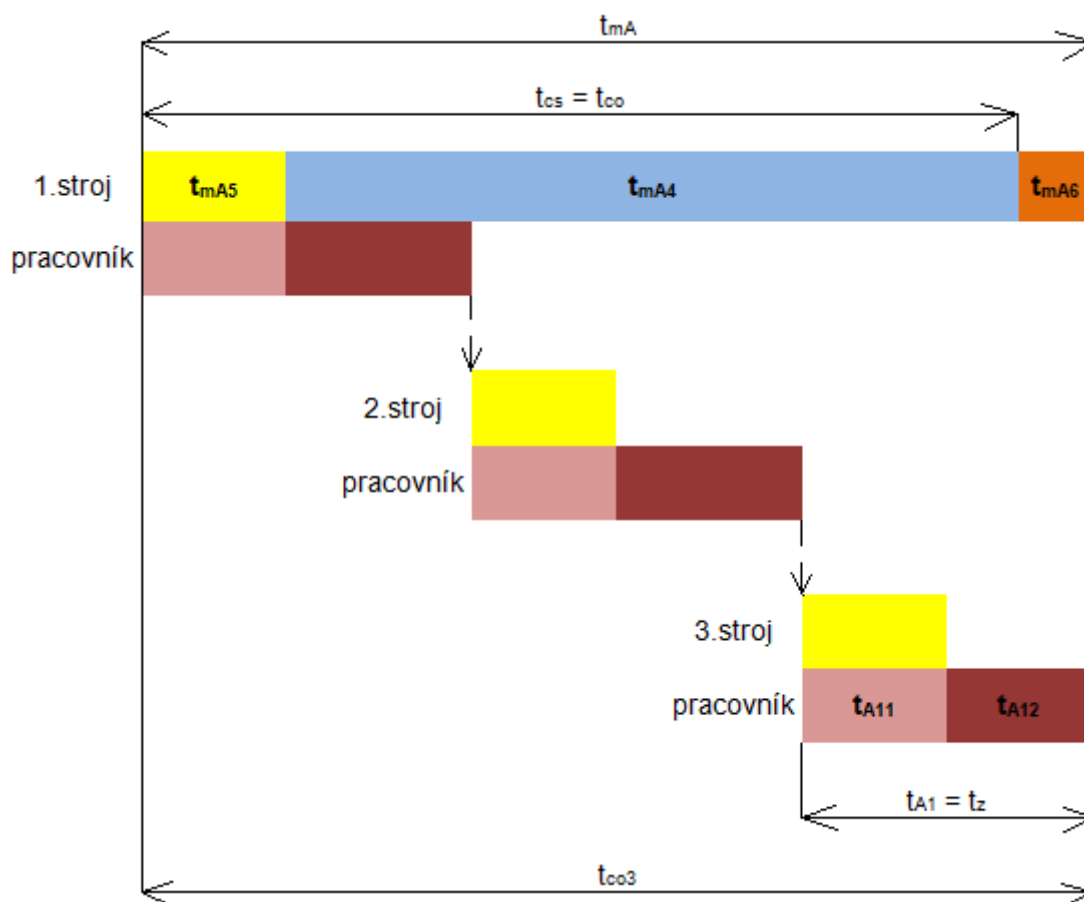
$$N_{psAC3} = \frac{t_{cs}}{k_{vs3}} \cdot \frac{N_{hs}}{60} = \frac{18}{1} \cdot \frac{675}{60} = 202,5 \text{ Kč} \quad (6.22)$$

$$N_2 = N_{mAC3} + N_{psAC3} = 255 \text{ Kč} \quad (6.23)$$

Na obr.6.1 a obr.6.2 jsou znázorněny grafy jednotlivých možností vícestrojové obsluhy, kde v případě dvoustrojové obsluhy dělník čeká na dokončení pracovního cyklu stroje. V případě třístrojové obsluhy pracovní cyklus stroje skončí dříve, než-li je hotový dělník s požadovanou prací a stroj čeká na obsluhu.



Obr.6.1 Graf dvoustrojové obsluhy



Obr.6.2 Graf třístrojové obsluhy

6.2 Náklady na výrobu polotovarů

Pro ekonomické porovnání variant výroby polotovaru jsou v této podkapitole vypočítány výrobní náklady polotovaru ve firmě. Vstupní parametry pro výpočet jsou uvedeny v tab.6.4. Výroba polotovaru v kooperaci byla poptána u dodavatele a následně na základě poptávky byla zaslána cenová nabídka, kde cena za jeden kus činí 84 Kč. Celková cena na celou dávku výroby polotovarů pro obrábění činí 19320 Kč.

Tab.6.4 Vstupní parametry pro výpočet nákladů pro řezání na pásové pile

Zkratka	Název	Hodnota
t_{AC}	jednotkový čas s podílem času směnového	7,28 [min]
t_{BC}	dávkový čas s podílem času směnového	115,9 [min]
R	režie	200 [%]
d_v	dávka	230 [ks]
M_{tAC}	mzdový tarif pro čas t_{AC}	110 [Kč/hod]
C_s	pořizovací cena stroje	494 000[Kč]
z	doba životnosti	10
S_f	fixní hodinová sazba	500 [Kč/hod]
E_{ef}	efektivní časový fond stroje za rok	1900 [hod]

Náklady na hodinu provozu stroje N_{hs} :

$$N_{hs} = S_f + \frac{C_s}{z \cdot E_{ef}} = 500 + \frac{494000}{10 \cdot 1900} = 526 \text{ [Kč/hod]} \quad (6.24)$$

Náklady na přímé mzdy včetně provozní režie N_{mAC} :

$$N_{mAC} = \frac{t_{AC}}{60} \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \cdot M_{tAC} = \frac{7,28}{60} \cdot \left(1 + \frac{200}{100}\right) \cdot 110 = 40,04 \text{ [Kč/ks]} \quad (6.25)$$

Náklady na provoz stroje N_{psAC} za čas t_{AC} :

$$N_{psAC} = \frac{t_{AC}}{60} \cdot N_{hs} = \frac{7,28}{60} \cdot 526 = 63,82 \text{ [Kč/ks]} \quad (6.26)$$

Náklady na dávkové mzdy včetně režie N_{mBC} :

$$N_{mBC} = t_{BC1} \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \cdot \frac{M_{tBC1}}{60} = 115,9 \cdot \left(1 + \frac{200}{100}\right) \cdot \frac{110}{60} = 637,4 \text{ [Kč/dáv.]} \quad (6.27)$$

Náklady na provoz za čas t_{BC} v dané operaci N_{psBC} :

$$N_{psBC} = \frac{t_{BC}}{60} \cdot N_{hs} = \frac{115,9}{60} \cdot 526 = 1016 \text{ [Kč/dáv.]} \quad (6.28)$$

Náklady závislé na počtu kusů v dávce N_{zd} :

$$N_{zd} = N_{mAC} + N_{psAC} = 40,04 + 63,82 = 103,86 \text{ [Kč/ks]} \quad (6.29)$$

Náklady nezávislé na počtu kusů v dávce N_{nd} :

$$N_{nd} = N_{mBC} + N_{psBC} = 637,45 + 1016 = 1653,45 \text{ [Kč/dáv.]} \quad (6.30)$$

Výrobní náklady na dávku VN_d :

$$VN_d = N_{zd} \cdot d_v + N_{nd} = 103,86 \cdot 230 + 1653,45 = 25541,25 \text{ [Kč/dáv.]} \quad (6.31)$$

Z hlediska ceny polotovaru pro řezání desek o rozměru 378x264 vychází lépe výroba polotovaru v kooperaci a to o 6221,25Kč.

6.3 Náklady na výrobu dle typu upnutí

Dle vzorců 6.24 až 6.31 byly zpracovány v systému Excel náklady jednotlivých variant upínání, kde varianta 1 je řešena pro upínání v přípravku a v tabulce 6.5 jsou uvedeny dílčí náklady jednotlivých strojů, kterých je pro tuto strategii použito. Varianta 2 obsahuje řešení nákladů pro výrobu součásti upnutou pomocí vakuového upínače a jsou uvedeny v tab.6.6.

Tab.6.5. Výrobní náklady varianty 1

VARIANTA 1	Stroje		
	FV25CNC	Akira Seiki	F105
N_{hs} [Kč/hod]	647	710	668
M_{tAC} [Kč/hod]	150	150	150
M_{tBC} [Kč/hod]	150	150	150
R [%]	250	250	250
d_v [ks]	230	230	230
t_{A11} [min]	3	3	2
t_{A12} [min]	2	3	3
t_{A32} [min]	4	16	11
t_A [min]	9	22	16
t_{AC} [min]	10,08	24,64	17,92
t_B [min]	37,8	119,5	88
t_{BC} [min]	42,3	133,85	98,56
N_{mAC} [Kč/ks]	88,2	215,6	156,8
N_{psAC} [Kč/ks]	108,7	291,6	199,5
N_{zd} [Kč/ks]	196,9	507,2	356,3
N_{mBC} [Kč/dávku]	370,125	1171,1875	862,4
N_{psBC} [Kč/dávku]	456,14	1583,9	1097,3
N_{nd} [Kč/dávku]	826,265	2755,0875	1959,7
V_{ND} [Kč/dávku]	46113,265	119411,0875	83908,7
Celkové výrobní náklady:		249 433,05 Kč	

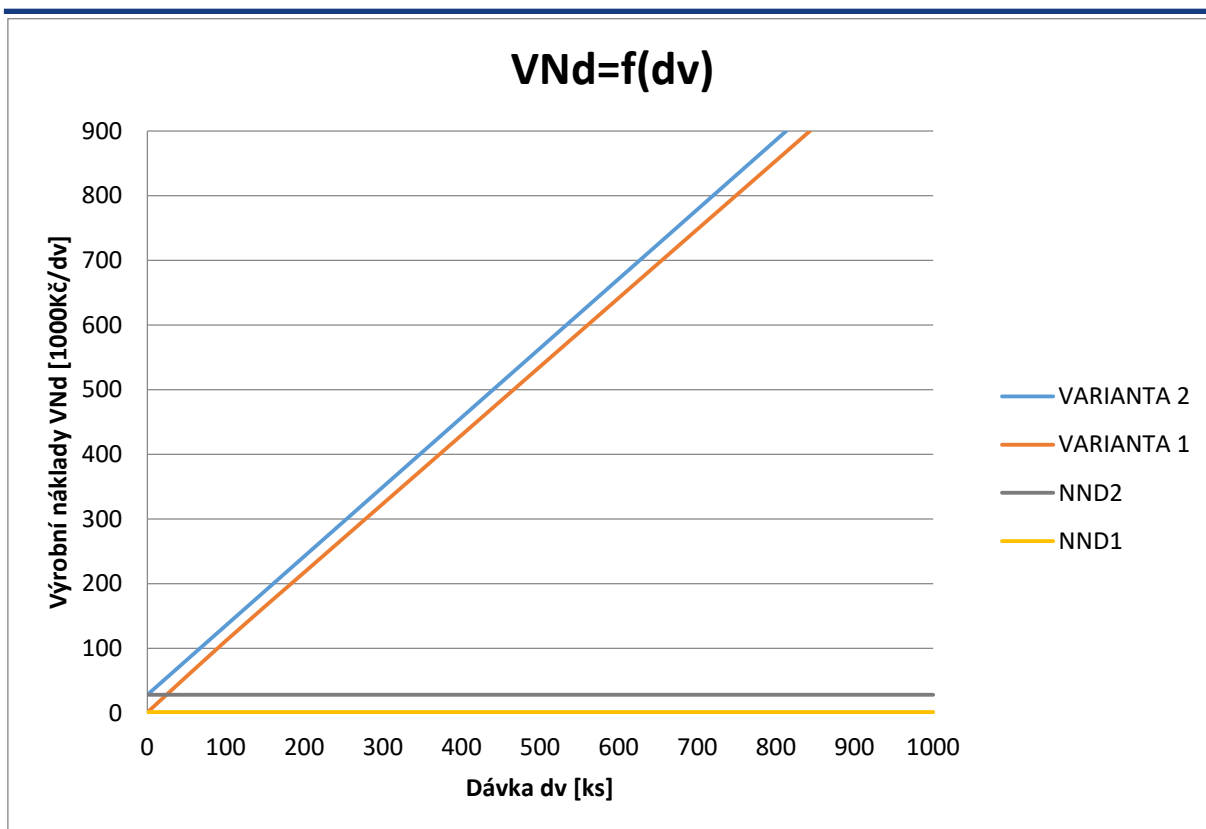
Tab.6.6 Výrobní náklady varianty 2

VARIANTA 2	Stroj
	Akira Seiki
N_{hs} [Kč/hod]	710
M_{tAC} [Kč/hod]	150
M_{tBC} [Kč/hod]	150
R [%]	250
d_v [ks]	230
t_{A11} [min]	2
t_{A12} [min]	5
t_{A32} [min]	39,5
t_A [min]	46,5
t_{AC} [min]	52,08
t_B [min]	160
t_{BC} [min]	179,2
N_{mAC} [Kč/ks]	455,7
N_{psAC} [Kč/ks]	616,3
N_{zd} [Kč/ks]	1072
N_{mBC} [Kč/dávku]	1568
N_{psBC} [Kč/dávku]	616
N_{nd} [Kč/dávku]	28119
V_{ND} [Kč/dávku]	296 119

Závislost úspor na 1ks na výrobní dávce (6.32)

$$u_{ks} = N_{zd1} - N_{zd2} - \frac{N_{nd2} - N_{nd1}}{d} = 1060,4 - 1072 - \frac{28119 - 5541,05}{230} = -109,765 \text{ Kč}$$

V celkovém porovnání nákladů na výrobu dávky 230 kusů dílů, je rozdíl mezi variantou 1 a variantou 2 46 685,95Kč. Úspory nákladů na jeden kus při použití přípravku jsou bezmála 110Kč. Na obr.6.3. je zobrazen graf, který uvádí výrobní náklady jednotlivých variant závislé na výrobní dávce. A na obr.6.4 je znázorněn graf pro závislost úspor na výrobní dávce.



Obr.6.3 Graf závislosti výrobních nákladů na dávce



Obr.6.4 Graf závislosti úspor na dávce

4 DISKUZE

Při porovnávání nákladů na výrobu dle upnutí součástí je pro variantu 2 velkým nákladem pořizovací cena vakuového upínače, který tuto možnost, z důvodu výroby se snahou mít co nejnižší náklady, zavrhuje. Naopak výhodou této varianty je, že jedna strana součástí je obrobena na jedno upnutí na jednom stroji. Nedocházelo by k časovým prostojům přípravy pracoviště manipulací s polotovary a upínáním součástí, či vytváření programů pro jednotlivé stroje. Také by obsluha měla dostatek času na jiné činnosti, jakož by mohla být kontrola a čištění vyrobených součástí nebo v případě vícestrojové obsluhy obsluhovat jiné stroje. Bohužel v případě možností firmy nelze vícestrojovou obsluhu v případě operací 20/20, 40/40, 60/60 využít, a to z důvodu, že má pouze jeden stroj vybavený středovým chlazením, které je nezbytné pro tyto operace. Velkým přínosem by byla možnost frézování druhé strany, to ale, jak bylo již uvedeno, není možné z důvodu porušení vakua během frézování kapsy, kdy dochází k otevírání děr. Možností pro takovéto upnutí by mohla být vyfrézovaná duralová deska, která by byla vložena mezi upínač a součást. Tato mezivložka by byla negativem strany desky s dírami se zahloubením a měla vytvořené kanálky pro vytvoření vakua. Díry by musely přesně lícovat a dosedat na vyfrézovanou negativní stranu. To by ovšem nemálo navýšilo náklady spojené s dávkou, což by bylo nežádoucí. V případě vyrábění většího počtu kusů by bylo na místě tuto variantu zhodnotit, otestovat funkčnost upnutí a případně aplikovat do výrobního procesu.

Pro zavedení vícestrojové obsluhy pro operaci 50/50 nám jsou nápomocné parametry jako součinitel vícestrojové obsluhy, počet kusů obrobenech za jednotku času či náklady na obrobění jednoho kusu. V případě priority výroby na co největší produkci vychází lépe třístrojová obsluha, avšak ta se potýká s podobným problémem, jako tomu bylo u řešení návrhu upínání. Nedostačující technologické možnosti stroje FV 25CNC zabraňují využití této obsluhy. Avšak z všeobecného a finančního hlediska, kde rozdíl nákladů je minimální, je lepší využít dvoustrojovou obsluhu. Ta má za výhodu, že firma má k dispozici jeden volný stroj, na kterém mohou být prováděny jiné práce a může tím být vytvářen další zisk. Z těchto důvodů je tato varianta zavedení vícestrojové obsluhy vhodnější.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vypracovat technologickou přípravu výroby pro plastový díl tak, aby byla zakázka vyrobená v termínu a co možná s největším ziskem pro firmu. Technologie výroby byla koncipována tak, aby splnila technologické možnosti a vybavení firmy. Tvorba programů probíhala v systému Edgecam, ze kterého byly následně exportovány NC kódy do jednotlivých obráběcích strojů a jsou uvedeny v přílohách této práce. V kapitole technicko-ekonomického zhodnocení je provedena analýza vícestrojové obsluhy, kde byla řešena dle výrobního postupu operace 50/50. Dalšími podkapitolami bylo věnováno provedení výpočtů nákladů jednotlivých variant návrhů výroby polotovaru a návrhů upnutí polotovaru týkající se operace 20/20, 40/40 a 60/60. Získané výsledky jsou:

Vícestrojová obsluha

- Úspora nákladů při využití dvoustrojové obsluhy činí 21,86%
- Úspora nákladů při využití třístrojové obsluhy činí 23%
- Čas na výrobu jedné dávky v operaci 50/50 při dvoustrojové obsluze je snížen o 50%
- Čas na výrobu jedné dávky v operaci 50/50 při třístrojové obsluze je snížena o 77%

Náklady na výrobu polotovaru

- Rozdíl mezi výrobou polotovarů ve firmě a kooperací činí 6221,75 Kč.
- Výroba polotovaru v kooperaci finančně vychází o 24,35% méně.

Náklady na výrobu dle upnutí

- Celkové náklady na výrobu součástí v přípravku jsou o 15,76% menší, než-li výroba součástí upnutých vakuovým upínačem.
- Úspora nákladů na jeden kus je 109,765 Kč.

Během realizace výroby součástí nenastaly žádné potíže a problémy. Vyrobené díly splnily určené požadavky a bylo tak možné je zákazníkovi předat.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Brno, 2003, Brno [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [2] VLACH, Bohumil. *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL, 1990, 464 s. : il. ISBN 80-03-00143-9.
- [3] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: Technologie obrábění - 2. část* [online]. 2004, Brno [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [4] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. www.publi.cz, 2015 [cit. 2019-03-01]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>.
- [5] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999, 985 s. : il. ISBN 80-7183-164-6.
- [6] ŘASA, J.; GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3. Metody, stroje a nástroje pro obrábění*, 2.vyd.; Scientia: Praha, 2005. ISBN 80-7183-337-1
- [7] *Vertikální obráběcí centrum: Akira seiki SV815* [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.akiraseiki.com/productsDia.php?d=9>
- [8] *Vertikální obráběcí centrum: Optimill F105* [online]. 2019 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.stuermer-maschinen.de/marken/optimum/kategorie/produkt/optimum-fraesmaschinen-cnc/optimill-f-105-sinumerik-808d-advanced-3501100/>
- [9] Konzolová frézka: *FV25 CNC* [online]. Economia, 1998 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-974574-vertikalni-konzolova-frezka-fv-25-cnc>
- [10] *Hrotový soustruh: Masturn 550i* [online]. 2016 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/masturn-550i-p34.html>
- [11] *Obrážka: CNC-300* [online]. 2019 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/stroje/eastar/cnc/>
- [12] *Konzolové frézky: FGV32, FGU32, F2V-R* [online]. Olomouc, 2017 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.tos-olomouc.cz/cz/vyrobn-program/>

[13] *Hrotový soustruh: SV18 R* [online]. TumlikOVO, 2010 [cit. 2019-05-16].
Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/stroje-2/soustruh/sv18/>

[14] *Univerzální hrotový soustruh: SN50C* [online]. Trens, 2013 [cit. 2019-04-16].
Dostupné z: <https://www.trens.sk/sk/produkty/univerzalne-hrotove-sustruhy/sn-50-c>

[15] *Brusky naplocho/nakulato* [online]. Knuth [cit. 2019-04-16]. Dostupné z:
<https://www.knuth.cz/triskove-obrabeni/brouseni.html>

[16] *Pásové pily na kov* [online]. Pilous, 2016 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z:
<https://www.pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov>

[17] *Snadné a rychlé 3D modelování: Spaceclaim* [online]. MM spektrum, 2011 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/snadne-a-rychle-3d-modelovani.html>

[17] *Edgecam pomohl zvýšit míru ziskovosti* [online]. MM spektrum, 2013 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/edgecam-pomohl-zvysit-miru-ziskovosti.html>

[18] *Vakuová upínací technika* [online]. Zlín: NAROS, 2009 [cit. 2019-04-24].
Dostupné z: http://www.naros.cz/katalog/Prospekt_Vakuum_CZ.pdf

[19] *WIDIA catalogue: M1200 Series* [online]. WIDIA, 2017 [cit. 2019-04-29].
Dostupné z:
https://www.widia.com/content/dam/kennametal/widia/common/resources/downloads/literature/WIDIA%20Catalogs/A-17-05555_WID_All-Star_Catalog_2018_LR.pdf

[20] *Helion catalogue* [online]. Barcelona: Helion tools, 2018 [cit. 2019-05-01].
Dostupné z:
https://cdn00.ebasnet.eu/data/eshop/helion/uploads/docs/2018catalogues/Helion_Catalogue_1819.pdf?1531736651

[21] *Widin Catalogue: ALU-wave* [online]. 2017 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z:
<http://www.widinus.com/pub/media/wysiwyg/Catalogs/2017-Inch-Metric-Aluminum-Products.pdf>

[22] *WNT katalog: Vrtání* [online]. Ceratizit [cit. 2019-05-01]. Dostupné z:
<https://www.wnt.com/mastertool/CS/category/N%C3%A1stroje/Vrt%C3%A1n%C3%A1D/TK%20vrt%C3%A1ky/do%205xD/Typ%20WTX%20V>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CAD	- computer aided design
CAM	- computer aided machining
CNC	- computer numerical control
PA	- polyamid
VBD	- výměnné břitové destičky
3D	- trojrozměrný prostor
2D	- dvourozměrný prostor

Symbol	Jednotky	Popis
A_{Di}	[mm ²]	- jmenovitý průřez třísky
C_s	[Kč]	- pořizovací cena stroje
D	[mm]	- průměr nástroje
D_1	[mm]	- průměr nástroje
E_{sf}	[hod]	- efektivní časový fond stroje za rok
K_{voi}	[-]	- součinitel vícestrojové obsluhy
L	[mm]	- dráha nástroje ve směru posuvového pohybu
L_{10}	[mm]	- délka řezné hrany VBD
M_{tAC}	[Kč/hod]	- mzdový tarif na jednu hodinu práce pro čas t_{AC}
M_{tBC}	[Kč/hod]	- mzdový tarif na jednu hodinu práce pro čas t_{BC}
N_{hs}	[Kč/hod]	- náklady na hodinu provozu stroje
N_i	[Kč/ks]	- celkové náklady
N_{mAC}	[Kč/ks]	- mzdové náklady na obrobení jednoho kusu
N_{mBC}	[Kč/dávku]	- mzdové náklady na obrobení jedné dávky
N_{nd}	[Kč/dávku]	- náklady nezávislé na počtu kusů
N_{psAC}	[Kč/ks]	- náklady na provoz stroje na obrobení jednoho kusu
N_{psBC}	[Kč/dávku]	- náklady na provoz stroje na obrobení jedné dávky
N_{zd}	[Kč/ks]	- náklady závislé na počtu kusů
Q	[kg]	- hmotnost extrudované desky
Q_m	[kg · ks ⁻¹]	- norma spotřeby materiálu
Q_{pA}	[kg · ks ⁻¹]	- hmotnost přířezu
Q_{pc}	[kg · ks ⁻¹]	- hmotnost prořezu
Q_{pp}	[kg · ks ⁻¹]	- hmotnost polotovaru
Q_s	[kg]	- hmotnost součásti
S	[mm]	- šířka VBD
S_f	[Kč/hod]	- fixní hodinová sazba
R	[%]	- režie
R_ϵ	[mm]	- poloměr špičky břitu nástroje
U_{ds}	[Kč/ks]	- úspora
T	[min]	- čas směny
VN_D	[Kč/dávku]	- výrobní náklady na dávku
V_s	[kg · m ⁻³]	- objem součásti

a	[mm]	- délka polotovaru
a _e	[mm]	- radiální šířka záběru ostří
a _p	[mm]	- axiální šířka záběru ostří
b	[mm]	- šířka polotovaru
c	[mm]	- výška polotovaru
d	[mm]	- průměr obrobené plochy
d _s	[mm]	- průměr brousicího kotouče
d _w	[mm]	- průměr obrobku
f	[mm]	- posuv na otáčku
f _n	[mm]	- posuv na otáčku
f _z	[mm]	- posuv na zub
h _i	[mm]	- tloušťka odřezávané třísky
h _{eq}	[mm]	- ekvivalentní tloušťka broušení
k _c	[-]	- směnový koeficient
k _{vs}	[-]	- součinitel využití stroje
k _z	[-]	- součinitel zaměstnanosti
k _{zmi}	[-]	- součinitel zaměstnanosti pracovníka při obsluze m strojů
l	[mm]	- délka obráběné plochy
l ₁	[mm]	- délka extrudované desky
l ₂	[mm]	- šířka extrudované desky
l _{kA}	[mm]	- délka nevyužité části desky
l _n	[mm]	- délka náběhu
l _{nf}	[mm]	- vzdálenost středu nástroje od začátku obrábění
l _p	[mm]	- délka přeběhu
m _t	[-]	- teoretický počet obsluhovaných strojů
n	[min ⁻¹]	- otáčky nástroje
n _A	[ks]	- počet přířezů
n _k	[ks]	- počet kusů
n _ř	[ks]	- počet řad
n _{řa}	[ks]	- počet vyřezaných polotovarů v řadě
n _s	[min ⁻¹]	- frekvence otáčení brousicího kotouče
n _w	[min ⁻¹]	- frekvence otáčení obrobku
p	[mm]	- šířka prořezu
q _{dA}	[kg · ks ⁻¹]	- odpad vzniklý prořezem
q _{kA}	[kg · ks ⁻¹]	- odpad z nevyužité desky
q _{oA}	[kg · ks ⁻¹]	- odpad vzniklý při obrábění
q _{zc}	[kg · ks ⁻¹]	- poměrná hmotnost z nevyužitého materiálu desky
t _A	[min]	- čas jednotkové práce
t _{AC}	[min]	- čas jednotkový s přírážkou času směnového
t _{AS}	[min]	- jednotkový strojní čas
t _{ASv}	[min]	- jednotkový strojní čas při konstantní rychlosti
t _{ax}	[min]	- čas jednotkové nepravidelné obsluhy
t _{A11}	[min]	- čas jednotkové práce za klidu stroje
t _{A12}	[min]	- čas jednotkové práce za chodu stroje
t _{A13}	[min]	- čas jednotkové práce strojně ruční
t _{A211}	[min]	- čas jedn. obecně nutných přestávek za klidu stroje
t _{A221}	[min]	- čas jedn. obecně nutných přestávek za chodu stroje
t _{A31}	[min]	- čas jedn. podmíněčně nutných přestávek za klidu stroje
t _{A32}	[min]	- čas jedn. podmíněčně nutných přestávek za chodu stroje
t _B	[min]	- čas dávkové práce

t_{BC}	[min]	- čas dávkový s přírážkou času směnového
t_{B1}	[min]	- čas dávkové práce
t_{B2}	[min]	- čas dávkový obecně nutných přestávek
t_{B3}	[min]	- čas dávkový podmíněčně nutných přestávek
t_c	[min]	- čas směnový
t_{co}	[min]	- čas cyklu operace
t_{com}	[min]	- čas cyklu operace při obsluze m strojů
t_{cs}	[min]	- čas cyklu stroje
t_{c11}	[min]	- čas směnové práce za klidu stroje
t_{c12}	[min]	- čas směnové práce za chodu stroje
t_{c201}	[min]	- čas směnový obecně nutných přestávek za klidu stroje
t_{c202}	[min]	- čas směnový obecně nutných přestávek za chodu stroje
t_{c3}	[min]	- čas směnový podmíněčně nutných přestávek
t_{mA4}	[min]	- jednotkový čas chodu stroje
t_{mA5}	[min]	- jednotkový čas klidu stroje
t_{mA6}	[min]	- jednotkový čas interference stroje
t_{vs}	[min]	- čas využití stroje
t_z	[min]	- čas zaměstnanosti
V_c	$[m \cdot min^{-1}]$	- řezná rychlost
V_e	$[m \cdot min^{-1}]$	- efektivní výsledná rychlost řezného pohybu
V_f	$[mm \cdot min^{-1}]$	- posuvová rychlost
Z	[-]	- počet zubů (břitů) nástroje
φ_i	[°]	- úhel posuvového pohybu
K_r	[°]	- úhel nastavení hlavního ostří
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	- hustota

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti
Příloha 2	Program Edgecam
Příloha 3	NC kódy

